



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 54 328 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
G 01 D 5/244
G 01 B 7/02

②1 Aktenzeichen: 199 54 328.3.
②2 Anmeldetag: 11. 11. 1999
④3 Offenlegungstag: 22. 3. 2001

D3

DE 199 54 328 A 1

③0 Unionspriorität:
399644 20. 09. 1999 US
⑦1 Anmelder:
Balluff, Inc., Florence, Ky., US
⑦4 Vertreter:
Prinz und Kollegen, 81241 München

⑦2 Erfinder:
Ehling, Ernst, 73765 Neuhausen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen kompensierter Meßwandler-Ausgangsimpulse

⑤7 Es werden ein Meßwandler und Verfahren geschaffen, die ein Paar von Impulsen als Ausgangssignal liefern, wobei der gemessene Zustand durch die Zeitdauer zwischen den Impulsen dargestellt wird, wobei es eine interne Kompensation aufweist, so daß das Paar von Impulsen abgeglichen wird, um das Ausgangssignal eines vorgegebenen idealen Meßwandlers nachzuahmen. In einer Ausführungsform werden durch Vergleichen des Meßwandlerausgangssignals mit einer durch eine getrennte Meßvorrichtung vorgenommenen Positionsmessung Korrekturfaktoren für einen magnetostriktiven linearen Positionsmesswandler berechnet. Diese Korrekturfaktoren werden in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert. Während des Betriebs eines Meßwandlers wird dann für jede unkorrigierte Messung ein Korrekturfaktor ausgewählt und zu der unkorrigierten Messung addiert, um eine kompensierte Messung zu liefern. Die kompensierte Messung dann zum Erzeugen eines Zeitwerts unter Verwendung einer Berechnung, die eine vorgegebene Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit enthält, verwendet. Die Ausgangsimpulse werden dann anhand dieses Zeitwerts erzeugt, so daß die Impulse eine Messung darstellen, wie sie bei der Ausgabe von einem ideal linearen Wellenleiter mit einer vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit erscheinen würde. Dementsprechend sind die Ausgangsimpulse linearisiert und auf die vorgegebene Ausbreitungsgeschwindigkeit standardisiert. Somit braucht das Steuersystem (oder eine andere ...

DE 199 54 328 A 1

TECHNISCHES GEBIET

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf Meßwandler wie etwa z. B. auf magnetostriktive Positionsmeßwandler und genauer auf Meßwandler, die ein gepulstes Ausgangssignal derart liefern, daß die Zeitdauer zwischen den Impulsen proportional zu dem gemessenen Zustand ist, wobei es zur Berücksichtigung verschiedener Faktoren kompensiert ist. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung in einer Ausführungsform ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von Ausgangsimpulsen von magnetostriktiven Positionsmeßwandlern, die für die Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit (d. h. für den "Gradienten") standardisiert und außerdem zur Berücksichtigung von Wellenleiter-Nichtlinearitäten kompensiert sind.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Ein Meßwandler kann irgendeines von einer Vielzahl von Ausgangssignalen liefern. Zum Beispiel kann ein analoges Spannungsausgangssignal (oder Stromausgangssignal) geliefert werden, wobei die Ausgangsspannung (oder der Ausgangsstrom) direkt proportional zu dem gemessenen Zustand ist. Alternativ kann der Meßwandler ein digitales Ausgangssignal wie etwa z. B. eine synchrone serielle Schnittstelle (SSI) liefern, an der der gemessene Zustand als ein Datenwort geliefert wird. Die Art des von dem Meßwandler gelieferten Ausgangssignals hängt von der besonderen Umgebung, in der der Meßwandler angewendet wird, und von dem Controller oder von der Vorrichtung, an die das Ausgangssignal geliefert wird, ab.

Ein weiteres Beispiel eines Meßwandler-Ausgangssignals ist das Start/Stopp-Ausgangssignal oder die Impulsschnittstelle, in der die Zeitdauer zwischen einem ersten und einem zweiten Impuls direkt proportional zu dem gemessenen Zustand oder zu der gemessenen Größe ist. Beispielfhaft liefert in einem magnetostriktiven Positionsmeßwandler ein Controller einen Abfrageimpuls, der zu einer von einer magnetischen Markierung an dem Meßwandler ausgehenden elastischen Verformung eines Wellenleiters in dem Meßwandler führt. Die Verformung pflanzt sich in Form einer mechanischen Welle mit Längs- und Torsionskomponenten in beiden Richtungen längs des Wellenleiters fort. Durch einen geeigneten Umsetzer wie etwa durch eine Spule, durch ein Band oder durch einen Kristall wird die mechanische Welle hierauf in einen Antwortimpuls umgesetzt. Der Abfrageimpuls und der Antwortimpuls werden als ein Start/Stopp-Impuls-Ausgangssignal geliefert, wobei die Zeitdauer zwischen den zwei Impulsen die Position des mit der gemessenen verschiebbaren Masse verbundenen Magneten darstellt. Die vorliegende Erfindung ist auf solche Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal oder Impulsschnittstellen-Meßwandler anwendbar, wobei die Zeitdauer zwischen den zwei Impulsen einen gemessenen Zustand oder ein gemessenes Merkmal (z. B. eine Position) darstellt.

Die Genauigkeit der Meßwandler kann durch Unvollkommenheiten und Abweichungen in den Bauteilen und Materialien, aus denen der Meßwandler besteht, beeinflußt werden. Zum Beispiel kann der magnetostriktive Wellenleiter eines Positionsmeßwandlers über seine Länge Abweichungen im Material und in der Größe aufweisen, die ein über die Länge des Wellenleiters unerwünscht nichtlineares Ausgangssignal erzeugen. Mit anderen Worten, wegen der Herstellungsabweichungen längs des Wellenleiters liefert der Meßwandler möglicherweise kein hinsichtlich der Position längs des Wellenleiters ideal lineares Ausgangssignal.

Ogleich eine sorgfältige Abschirmung der Materialien und Bauelemente Ungenauigkeiten wegen der Nichtlinearität verringern kann, kann eine solche Abschirmung und Steuerung Zeit erfordern, die Herstellungskosten des Meßwandlers erhöhen und dazu führen, daß zahlreiche Wellenleiter verworfen werden müssen.

Außerdem können zwei Meßwandler vom gleichen Typ wegen Materialabweichungen oder -unregelmäßigkeiten verschiedene Ausgangssignale erzeugen. Beispielsweise kann ein magnetostriktiver Wellenleiter eines Meßwandlers wegen geringfügiger Unterschiede in bezug auf die Materialien oder wegen geringfügiger konstruktiver Abweichungen eine andere Ausbreitungsgeschwindigkeit als die eines anderen Meßwandlers besitzen. (Die Ausbreitungsgeschwindigkeit oder der "Gradient" eines Wellenleiters ist die Geschwindigkeit, mit der sich eine mechanische Welle längs des Wellenleiters fortpflanzt.) Damit das Ausgangssignal des Meßwandlers durch die Vorrichtung, die das Ausgangssignal des Meßwandlers empfängt, richtig interpretiert wird, müssen solche Abweichungen dementsprechend in Betracht gezogen werden. Falls z. B. ein Controller in einer Maschine das gepulste Ausgangssignal eines magnetostriktiven Positionsmeßwandlers empfängt, muß er herkömmlich mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters des Meßwandlers programmiert werden, um das Ausgangssignal des Meßwandlers richtig zu interpretieren. Eine solche Programmierung erfordert, daß der Anwender Erfahrung mit dem Programmierverfahren hat, sie erfordert Zeit von Seiten des Anwenders beim Durchführen der Programmierung, und sie kann fehleranfällig sein. Wenn der Meßwandler ersetzt werden muß, muß außerdem der Controller neu programmiert werden, um die besonderen Eigenschaften des Ersatzmeßwandlers zu berücksichtigen. Außerdem stellt diese Programmierung typischerweise nicht die Nichtlinearität in Rechnung.

Dementsprechend ist wünschenswert, die Korrektur von Unvollkommenheiten und Abweichungen in einem Meßwandler wie etwa von Abweichungen wegen der Materialzusammensetzung und wegen der Toleranzen zu ermöglichen, ohne eine Eingabe von Seiten des Anwenders zu erfordern, ohne eine Programmierung für jeden besonderen Meßwandler zu erfordern und ohne eine langwierige und verschwenderische Auswahl von Materialien oder Bauelementen zu erfordern. Insbesondere ist wünschenswert, eine solche Korrektur im Kontext von Meßwandlern zu schaffen, die magnetostriktive Wellenleiter verwenden, bei denen Nichtlinearitäten und Gradientenabweichungen problematisch sein können. Insbesondere ist eine solche Kompensation in Anwendungen erwünscht, bei denen eine hohe Genauigkeit gefordert wird.

In bestimmten Meßwandlern ist die Schaffung gewisser gegenüber dem Meßwandler interner automatischer Kompensationsfähigkeiten bekannt, so daß keine Anwendereingabe erforderlich ist. In Meßwandlern, die ein gepulstes Ausgangssignal verwenden, wird bisher jedoch keine solche Kompensation geliefert. Insbesondere ist kein Verfahren oder keine Vorrichtung zum genauen Erzeugen kompensierter Ausgangsimpulse von einem Meßwandler verfügbar. Zum Beispiel wird im Kontext eines magnetostriktiven linearen Positionsmeßwandlers mit einer digitalen Impulsschnittstelle bisher keine Fähigkeit zum Ändern oder Neuerzeugen des gepulsten Ausgangssignals des Meßwandlers geschaffen.

Dementsprechend besteht ein Bedarf an einem Verfahren und an einer Vorrichtung zum Ändern oder zum Neuerzeugen des Ausgangssignals eines Meßwandlers mit gepulster Schnittstelle, um so die Abweichungen (z. B. die Nichtlinearitäten) in einem besonderen Meßwandler und/oder die

Abweichungen zwischen Meßwandlern (z. B. Differenzen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten) zu kompensieren, um so die Eicheingabe von dem Anwender wegzulassen und die Notwendigkeit einer sorgfältigen Abschirmung und/oder des Verwerfens von Materialien zu vermeiden. Außerdem besteht ein Bedarf an einem solchen Verfahren und an einer solchen Vorrichtung, die ein hochgenaues Ausgangssignal mit einer hohen Auflösung schaffen können.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, die obigen Probleme zu beseitigen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal, der nicht erfordert, daß der Anwender das Steuersystem eicht, mit dem der Meßwandler angewendet wird.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum automatischen Kompensieren von Nichtlinearitäten in einem Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal, bei dem die Zeitdauer zwischen den Ausgangsimpulsen den gemessenen Zustand oder das gemessene Merkmal darstellt.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum automatischen Kompensieren von Abweichungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit in einem Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal mit kompensierten Start- und Stopp-Impulsen mit einer hohen Ausgangsauflösung, bei dem die Zeitdauer zwischen den Impulsen den gemessenen Zustand oder das gemessene Merkmal darstellt.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines magnetostruktiven linearen Positionsmeßwandlers mit Start/Stopp-Ausgangsimpulsen, der nicht erfordert, daß der Anwender das Steuersystem eicht, mit dem der Meßwandler verwendet wird.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines magnetostruktiven linearen Positionsmeßwandlers mit Start/Stopp-Ausgangsimpulsen, die kompensiert sind, um Abweichungen wegen Nichtlinearitäten und/oder wegen der Ausbreitungsgeschwindigkeit in Rechnungen zu stellen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum Erzeugen automatisch kompensierter Start/Stopp-Ausgangsimpulse von einem magnetostruktiven Positionsmeßwandler, wobei die Zeitdauer zwischen den Impulsen die lineare Position mit einer hohen Genauigkeit darstellt.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zum Erzeugen von Start/Stopp-Ausgangsimpulsen von einem magnetostruktiven Positionsmeßwandler, so daß die Zeitdauer zwischen den Impulsen die vorausgesagte lineare Position darstellt, wobei sie automatisch wegen Abweichungen in dem Meßwandler kompensiert ist.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines linearen Positionsmeßwandlers, der in einem Zylinder vorgesehen sein kann, wobei er weniger Raum beansprucht und besser gegenüber Beschädigung geschützt ist.

Zum Lösen der vorstehenden und weiterer Aufgaben wird ein Verfahren zur Schaffung eines kompensierten Ausgangssignals eines linearen Positionsmeßwandlers geschaffen. Das Verfahren umfaßt das Erzeugen eines Abfragesignals zum Erzeugen einer mechanischen Welle in einem Wellenleiter, das Umsetzen der mechanischen Welle in ein Antwortsignal, das Messen der Zeitdauer zwischen dem Ab-

fragesignal und dem Antwortsignal und das Berechnen einer Position anhand der gemessenen Zeitdauer. Außerdem umfaßt das Verfahren das Abgleichen der berechneten Position in der Weise, daß sie mit einem idealen Meßwandler mit einer linearen Wellenleiter-Antwort und mit einer vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit übereinstimmt. Außerdem umfaßt das Verfahren das Erzeugen eines Start-Impulses und eines Stopp-Impulses, wobei die Zeitdauer zwischen den Impulsen aus der abgeglichenen Position abgeleitet wird.

Außerdem wird ein Verfahren zur Schaffung eines kompensierten Meßwandler-Ausgangssignals geschaffen. Das Verfahren umfaßt das Liefern eines digitalen Werts, der einen ermittelten Zustand darstellt, und das Abgleichen des digitalen Werts in der Weise, daß er die Antwort eines vorgegebenen idealen Meßwandlers imitiert. Außerdem umfaßt das Verfahren das Erzeugen eines ersten Meßwandler-Ausgangsimpulses und das Erzeugen eines zweiten Meßwandler-Ausgangsimpulses nach dem ersten Impuls. Die Zeitverzögerung zwischen dem ersten und dem zweiten Impuls wird aus dem abgeglichenen digitalen Wert abgeleitet.

Außerdem wird ein lineares Positionsmeßwandlersystem geschaffen, das einen Wellenleiter, eine Abfrageimpuls-Generatorschaltung und einen mit dem Wellenleiter in Verbindung stehenden Modenumwandler aufweist. Außerdem enthält das System eine mit dem Modenumwandler und mit der Abfrageimpuls-Generatorschaltung in Verbindung stehende Rechenschaltung. Die Rechenschaltung ist so konfiguriert, daß sie die Zeitdauer zwischen dem Erzeugen des Abfragesignals von dem Abfrageimpulsgenerator und dem Erzeugen eines Antwortsignals von dem Modenumwandler mißt, und ist außerdem so konfiguriert, daß sie anhand der Zeitmessung einen digitalen Wert erzeugt. Außerdem enthält das System eine mit der Rechenschaltung in Verbindung stehende Kompensationsschaltung. Die Kompensationsschaltung ist so konfiguriert, daß sie den digitalen Wert in der Weise abgleicht, daß ein kompensierter digitaler Wert erzeugt wird, der die Antwort eines Wellenleiters mit einer vorgegebenen Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit simuliert. Außerdem enthält das System eine mit der Kompensationsschaltung in Verbindung stehende Stopp-Impuls-Generatorschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie anhand des kompensierten digitalen Werts einen Stopp-Impuls erzeugt.

Weiterhin wird außerdem ein lineares Positionsmeßwandlersystem mit einem Zylinder und mit einem wenigstens teilweise in dem Zylinder vorgesehenen Wellenleiter geschaffen. Außerdem enthält das System eine Abfrageimpuls-Generatorschaltung, einen mit dem Wellenleiter in Verbindung stehenden Modenumwandler und ein angrenzend an den Zylinder liegendes Nahelektronik-Gehäuse. Außerdem enthält das System eine wenigstens teilweise in dem Nahelektronik-Gehäuse vorgesehene Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung, die mit dem Modenumwandler in Verbindung steht. Die Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung ist so konfiguriert, daß sie einen analogen Antwortimpuls von dem Modenumwandler in ein digitales Impulssignal umsetzt. Außerdem ist eine fern von dem Zylinder liegende Fernelektronik enthalten, die eine mit der Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung in Verbindung stehende Rechenschaltung aufweist. Die Rechenschaltung ist so konfiguriert, daß sie die Zeitdauer zwischen dem Erzeugen eines Abfragesignals von dem Abfrageimpulsgenerator und dem Erzeugen eines digitalen Impulssignals von der Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung mißt und anhand der gemessenen Zeitdauer einen digitalen Wert erzeugt.

Weitere Aufgaben der vorliegenden Erfindung gehen für den Fachmann auf dem Gebiet aus der folgenden Beschrei-

bung hervor, in der bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung einschließlich einer momentan zum Ausführen der Erfindung betrachteten besten Betriebsart lediglich beispielhaft gezeigt und beschrieben sind. Selbstverständlich umfaßt die Erfindung verschiedene andere Aspekte und Ausführungsformen, ohne von dem Umfang der Erfindung abzuweichen. Dementsprechend ist die Zeichnung und die Beschreibung dem Wesen nach erläuternd und nicht einschränkend.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Obgleich das Dokument mit Ansprüchen endet, die die Erfindung genau darlegen und eindeutig beanspruchen, wird angenommen, daß sie aus der folgenden Beschreibung besser verständlich wird, die in Verbindung mit der beigefügten Zeichnung zu nehmen ist, in der:

Fig. 1 ein Diagramm ist, das eine Seitenansicht eines beispielhaften intern kompensierten magnetostriktiven Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 2 eine graphische Darstellung ist, die ein Extrapolationsverfahren zeigt, das in dem Meßwandler nach **Fig. 1** zur Voraussage einer Position verwendet werden kann;

Fig. 3a ein Ablaufplan ist, der ein beispielhaftes Verfahren zum Eichn von in einem Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung verwendeten Daten zeigt;

Fig. 3b ein Ablaufplan ist, der ein beispielhaftes Verfahren zum Betrieb eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 4a, b beispielhafte Datentabellen zur Verwendung beim Eichn eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung sind;

Fig. 5a ein Ablaufplan ist, der ein in einem Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal, gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung verwendetes alternatives Verfahren zum Eichn der Daten zeigt;

Fig. 5b ein Ablaufplan eines alternativen Verfahrens zum Betrieb eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 6 eine graphische Darstellung ist, die zeigt, wie aus den empirischen Daten gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung Korrekturfaktoren berechnet werden können, so daß der Wellenleiter eines Meßwandlers einen idealen Wellenleiter mit einer vorgegebenen Ausbreitungsgeschwindigkeit simulieren kann;

Fig. 7 eine Teilquerschnittsdarstellung ist, die eine Seitenansicht eines beispielhaften intern kompensierten magnetostriktiven Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal zeigt, der gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung teilweise in einen Zylinder eingebettet ist und eine fern liegende Elektronik besitzt;

Fig. 8 ein Diagramm ist, das eine Seitenansicht eines beispielhaften intern kompensierten magnetostriktiven Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal mit einer Fernelektronik zeigt, die eine Signalverarbeitungs-Schaltungsanordnung gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung enthält; und

Fig. 9 ein Diagramm ist, das eine Seitenansicht eines beispielhaften magnetostriktiven Meßwandlers zeigt, der kompensierte Start/Stopp-Impulse erzeugt und die Impulse hierauf vermittels der Signalverarbeitungs-Schaltungsanordnung gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung in ein anderes Format umsetzt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

Nun wird im einzelnen auf die Zeichnung, in der gleiche Bezugszeichen eine entsprechende Konstruktion zeigen, Bezug genommen, wobei **Fig. 1** einen beispielhaften, gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung hergestellten intern kompensierten Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal zeigt. Es wird angemerkt, daß diese Bezugnahme, obgleich hier lediglich auf magnetostriktive lineare Positionsmeßwandler Bezug genommen wird, lediglich der Erläuterung dient. Es ist beabsichtigt, daß die Prinzipien der Erfindung auf weitere Arten von Meßwandlern, Sensoren oder Detektoren mit gepulstem Ausgangssignal wie etwa z. B. auf LVDTs (lineare variable Differentialmeßwandler) angewendet werden können.

Fig. 1 zeigt einen beispielhaften linearen Positionsmeßwandler **10**, der ein Wellenleitergehäuse **12** sowie ein Elektronikgehäuse **14** enthält. Obgleich solche linearen Positionsmeßwandler irgendeine einer Vielzahl von in der Industrie bekannten Formen und Baukombinationen annehmen können, werden für die Zwecke der allgemeinen Erläuterung und des Verständnisses der vorliegenden Erfindung beispielhafte Konstruktionen diskutiert. Beispielhafte Konstruktionen sind in den US-Patenten Nr. 5.903.426 und 5.923.164 offenbart, die hiermit in ihrer gesamten Offenbarung durch Literaturhinweis eingefügt sind.

Die Form des Gehäuses **12** in **Fig. 1** kann von der Anwendung des Meßwandlers **10** abhängen. Zum Einsetzen in Hydraulikzylinder könnte z. B. ein stabförmiges oder zylindrisches Gehäuse verwendet werden, während für Anwendungen mit verschiebbaren Bauelementen außerhalb des Zylinders ein allgemein rechteckförmiges Gehäuse verwendet werden könnte. Die Gehäuse **12** und **14** sind bevorzugt aus stranggepreßtem Aluminium oder rostfreiem Stahl hergestellt, obgleich andere starre Schutzmaterialien verwendet werden könnten.

In dem Wellenleitergehäuse **12** ist ein magnetostriktiver Wellenleiter **16** vorgesehen, der bevorzugt die Form eines verlängerten Drahts, eines verlängerten Stabs oder einer verlängerten Stange hat, und bevorzugt röhrenförmig ist. Der Wellenleiter **16** ist allgemein aus einem magnetischen Material hergestellt, das die Fähigkeit besitzt, sich proportional zur Stärke eines angelegten Magnetfelds zu verformen, auszudehnen oder zusammenzuziehen, weshalb es für "magnetostriktiv" gehalten wird. Beispiele solcher Materialien umfassen Nickel und Nickellegierungen. Bevorzugt ist der Wellenleiter **16** hohl und enthält eine in Längsrichtung durch seine Mitte verlaufende Öffnung.

Ein Leiter **18** verläuft von der Elektronik **30** in das Elektronikgehäuse **14** und über die Länge der Öffnung in dem röhrenförmigen Wellenleiter **16**. Hierauf verläuft der Leiter **18** außerhalb des Wellenleiters **16** zurück zu der Elektronik **30**. Alternativ könnte der Wellenleiter **16** einen festen Draht oder Stab aus einem leitenden Material umfassen. In einem solchen Fall könnten zwei Leiter **18** vorgesehen sein, die die zwei Enden des festen Wellenleiters **16** an eine geeignete Elektronik **30** anschließen.

An einem Ende des Wellenleiters **16** befindet sich eine Spondenspule **22** mit einem Abschnitt, der einen Endabschnitt des Wellenleiters effektiv umgibt. Alternativ zu der Spule **22** könnten andere geeignete Signalumsetzer wie etwa z. B. ein Magnetband oder ein Piezokristall verwendet werden.

Das gegenüberliegende Ende des Wellenleiters **16** ist von einem Dämpfer **26** umgeben, der bevorzugt aus einem Silikon-, Gummi- oder anderen Material, das mechanische Wellen absorbieren kann, um die Störung von Wellenreflexio-

nen zu minimieren, besteht, oder mit einem solchen verbunden ist. In einigen Anwendungen wäre die Verwendung eines solchen Dämpfers 26 nicht erforderlich.

Ein Magnet 19 ist gleitend mit dem Äußeren des Wellenleitergehäuses 12 im Eingriff. Der Magnet 19 kann eine runde Form mit einer mittigen Öffnung (z. B. eine Torus-ähnliche Form) zum Eingriff mit dem Gehäuse 12 besitzen. Außerdem könnte der Magnet 19 andere Formen und Konfigurationen annehmen. Zum Beispiel könnte der Magnet 19 eine flache, rechteckige Form zum gleitenden Eingriff an einer Seite des Gehäuses 12 wie etwa über den Eingriff in einer Rille oder Spur an dem Gehäuse 12 besitzen. Als weitere Alternative könnte der Magnet 19 ein existierendes bewegliches Teil einer Maschine wie etwa einen magnetischen Kolbendeckel in einem Zylinder einer Maschine oder mehrere um den Wellenleiter beabstandete Magneten umfassen.

In der beispielhaften Ausführungsform nach Fig. 1 ist der Magnet 19 mechanisch über den Steuerarm 20 mit einem verschiebbaren Element 52 in einer Maschine 50 verbunden. Das verschiebbare Element 52 könnte z. B. eine verschiebbare Oberfläche an einer Hydraulikpresse oder eine verschiebbare Spindel an einer Spindelpresse umfassen. Wegen der Kopplung 20 zwischen dem verschiebbaren Element 52 und dem Magneten 19 führt die Verschiebung des Elements 52 zu einer entsprechenden Verschiebung des Magneten 19. Andere Anwendungen wie etwa z. B. das Anordnen des Gehäuses 12 in einer vertikalen Position und das Bereitstellen eines Schwimmers an dem Magneten 19 in der Weise, daß er der Bewegung eines Fluids in einem Behälter folgen kann, sind ebenfalls beabsichtigt. Zum Empfang der Ausgangsimpulse 45 und 46 von dem Meßwandler 10 und zum Steuern des Betriebs der Maschine 50 wenigstens teilweise anhand dieser Impulse ist ein Steuersystem 54 vorgesehen. Die Zeitdauer zwischen den Impulsen 45 und 46 ist proportional zu der Position des verschiebbaren Elements 52.

Die Elektronik 30 in dem Elektronikgehäuse 14 steuert den Betrieb des Meßwandlers 10. Wie von der Anwendung gefordert, können die Elektronik 30 und das Gehäuse 14 in der Nähe des Wellenleitergehäuses 12 oder an einem fernen Ort liegen.

Außerdem braucht für die Elektronik 30 kein getrenntes Gehäuse vorgesehen zu sein.

Im Betrieb liefert das Steuersystem 54 ein Abfrageimpulssignal 39 des elektrischen Stroms an die Elektronik 30 und über den Leiter 18. (Alternativ kann die Elektronik 30 einen Impulsgenerator enthalten, der das Abfrageimpuls-Signal 39 über den Leiter 18 liefert, wobei das Steuersystem 54 in diesem Fall das Abfrageimpuls-Signal 39 nicht zu liefern braucht.)

Der Impuls 39 erzeugt ein ringförmiges elektromagnetisches Feld, das um den Wellenleiter 16 rotiert. Wenn sich das elektromagnetische Feld mit dem Magnetfeld des Magneten 19 überschneidet, wird ein magnetostriktiver Effekt erzeugt, der eine Verformung des Wellenleiters 16 bewirkt. Die Verformung läuft von dem Punkt des Magneten 19 aus in Form einer mechanischen Welle 17 in beiden Richtungen längs des Wellenleiters 16 bzw. breitet sich längs des Wellenleiters 16 in dieser Weise aus. Für die typischerweise in solchen Meßwandlern verwendeten Wellenleiternmaterialien beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit oder der Gradient der mechanischen Welle 17 längs des Wellenleiters 16 üblicherweise etwa 2830 Meter pro Sekunde (m/s). Bevorzugt wird der Impuls 39, bevor er über den Leiter 18 eingespeist wird, von dem Steuersystem 54 und über eine Impulsformungsschaltung 41 geleitet. Die Impulsformungsschaltung 41 liefert irgendeine erforderliche Formung des Impulses 39 wie etwa z. B. eine Verstärkung, die sicherstellt, daß der Impuls 39 die richtige Amplitude und Dauer besitzt, um in dem

Wellenleiter 16 einen erfaßbaren magnetostriktiven Effekts zu erzeugen.

Diejenige Komponente der Welle 17, die das ferne Ende des Wellenleiters 16 erreicht, wird bevorzugt durch das Dämpfungsmaterial 26 gedämpft, um zu verhindern, daß sie reflektiert wird und möglicherweise zukünftige Messungen stört. An dem nahen Ende des Wellenleiters 16 wird die mechanische Welle 17 über die Spule 22 geleitet, wo sie in ein elektrisches Signal umgesetzt wird. Diese Umsetzung führt zur Erzeugung eines elektrischen Signals 23 an den Anschlüssen der Spule 22. (Falls anstelle der Spule 22 ein Piezokristall verwendet würde, würde die Torsionsbewegung des Wellenleiters 16 eine Belastung auf den Kristall übertragen, die einen entsprechenden Spannungsimpuls von dem Kristall erzeugen würde.)

Wie im Gebiet bekannt ist, ist die Laufzeit der Welle 17 von dem Magneten 19 zu der Spule 22 direkt proportional zum Abstand des Magneten von der Spule. Insbesondere bezieht sich die folgende Gleichung auf die Position des Magneten 19:

$$D = v \cdot t,$$

wobei D der Abstand zwischen der Spule 22 und dem Magneten 19, t die Zeit, die die Welle 17 benötigt, um von dem Magneten 19 zu der Spule 22 zu laufen, und v die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters 16 ist.

Dementsprechend kann bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit v und der Zeit t der Abstand der magnetischen Markierung 19 ermittelt werden. Danach ist die Position der verschiebbaren Masse 52 bekannt. Da das Auslösen der Welle 17 an dem Magneten 19 nahezu momentan mit dem Auslösen des Stromimpulses 39 erfolgt, und da der Empfang der Welle 17 an der Spule 22 nahezu gleichzeitig mit dem Erzeugen des Rückimpulses 23 erfolgt, kann die Zeit t, wie im Gebiet bekannt ist, durch Messen der Zeitdauer zwischen dem Erzeugen des Stromimpulses 39 und dem Empfang des Rückimpulses 23 eng angenähert werden. Wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit v und die Zeit t bekannt sind, kann somit der Abstand D berechnet werden. Wenn die Zeit t zu 100,1234 Mikrosekunden gemessen würde und bekannt wäre, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters 16 2830 Meter pro Sekunde beträgt, würde der Abstand des Magneten 19 beispielsweise etwa 0,283349222 Meter betragen.

Gemäß Meßwandlern mit gepulstem Ausgangssignal des Standes der Technik wurde der Antwortimpuls 23 direkt in das Steuersystem 54 des Anwenders eingespeist, das die Maschine 50 (oder die Prozeßausrüstung) steuert. Das Steuersystem 54 würde die Zeitdauer zwischen dem Abfrageimpuls 39 und dem Antwortimpuls 23 benötigen und messen und hierauf unter Verwendung der obenbeschriebenen Gleichung die Berechnung ausführen.

Selbstverständlich erfolgt die Berechnung der Position anhand der obigen Gleichung unter Verwendung mehrerer Voraussetzungen. Zunächst wird vorausgesetzt, daß die zum Ausführen der Berechnung verwendete Ausbreitungsgeschwindigkeit v die tatsächliche Geschwindigkeit des Wellenleiters 16 ist. Wie die verwendete Gleichung zeigt, wird außerdem vorausgesetzt, daß die Beziehung zwischen dem Abstand D und der Zeit t über die Länge des Wellenleiters linear ist.

In der Praxis sind diese Bedingungen jedoch, wenn überhaupt, selten erfüllt. Zunächst unterscheidet sich die tatsächliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters 16 üblicherweise von dem typischen Wert (oder Standardwert). Zweitens ist die Wellenleitergeschwindigkeit üblicherweise nicht ideal linear. Wenn durch das Steuersystem 54 keine

Abgleiche an der berechneten Position vorgenommen werden, unterscheidet sich die tatsächliche Position des Magneten **19** dementsprechend etwas von der berechneten Position.

Um Berechnungen für eine genaue Messung auszuführen, müßte der Anwender somit bisher die in der Gleichung verwendete Geschwindigkeit v in dem Steuersystem **54** in der Weise abgleichen, daß sie mit der tatsächlich verwendeten des Wellenleiters **16** übereinstimmt. (Typischerweise wurde die durchschnittliche Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Wellenleiters **16** durch den Hersteller des Meßwandlers **10** gemessen und in die Meßwandlerspezifikation aufgenommen.)

Falls der Anwender den Meßwandler **10** durch eine neue Einheit ersetzen würde, müßte er dementsprechend das Steuersystem **54** in der Weise neu programmieren, daß es die neuen Eigenschaften der Einheit berücksichtigt. Dieser Prozeß war zeitaufwendig, fehleranfällig und erforderte Kenntnis von Seiten des Anwenders. Außerdem enthielten diese Steuersysteme **54** keine Einstellung für die Linearität, wobei somit nachfolgend einige Fehler zwischen der durch das Steuersystem berechneten Position und der tatsächlichen Position des Magneten verblieben. Um eine bessere Linearität zu erhalten, war eine sorgfältige Auswahl der Wellenleiter und/oder eine enge Steuerung ihrer Herstellung, manchmal mit einem höheren Aufwand, erforderlich.

Gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung und wie im folgenden ausführlicher beschrieben wird, liefert die Elektronik **30** jedoch als Ausgangssignal nicht den Impuls **23**, sondern über den Start-Impuls **46** und über den Stopp-Impuls **45** ein "künstliches" gepulstes Ausgangssignal. Wie bei Meßwandlern mit gepulster Schnittstelle des Standes der Technik wird der Ort des Magneten **19** weiter durch ein Paar von Impulsen dargestellt, wobei sich die Zeitdauer zwischen den Impulsen proportional zum Abstand des Magneten von einem vorgegebenen Start-Ort ändert. Im Gegensatz zu den Meßwandlern mit Impuls-Schnittstelle des Standes der Technik gleicht der Meßwandler **10** jedoch seine "künstlichen" Ausgangsimpulse (**45** und **46**) gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung zur Anpassung an die besondere Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters **16** ab. Außerdem gleicht der Meßwandler **10** diese Ausgangsimpulse (**45** und **46**) gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung in der Weise ab, daß Nichtlinearitäten des Wellenleiters **16** in Rechnung gestellt werden. Die Daten, die diese Kompensationen ermöglichen, werden bei der Herstellung des Meßwandlers **10** aufgezeichnet. Dementsprechend braucht der Anwender an seinem Steuersystem **54** keine Abgleiche vorzunehmen. Außerdem werden die Zeit und die Kosten für die Auswahl besserer Materialien zur Konstruktion des Meßwandlers **10** eingespart.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung kann durch den Anwender eine Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit vorausgesetzt werden, wobei das Steuersystem **54** unabhängig davon, ob an die Maschine ein neuer Meßwandler **10** angeschlossen wird, zum Ausführen der Positionsrechnung unter Verwendung dieser Geschwindigkeit nur einmal programmiert zu werden braucht. Der Anwender kann einfach den neuen Meßwandler **10** montieren und in der Art eines "Plug-and-Play" sofort mit dem Betrieb beginnen. Da das Steuersystem ständig auf die Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit abgeglichen sein kann, benötigt der Anwender somit nicht die Kenntnis und die Zeit, die zum Vornehmen von Änderungen an dem Steuersystem **54** erforderlich sind. Gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung nimmt der Meßwandler **10** intern Abgleiche an der Positionsmessung (zum Standardisieren der Ausbreitungsgeschwindigkeit und zum Linearisieren des Ausgangssignals)

vor, wobei er hierauf künstlich Impulse erzeugt, die die abgeglichene Messung darstellen.

Mit Bezug auf beispielhafte Ausführungsformen werden nun ausführlicher spezifische Beispiele beschrieben, wie diese Aspekte und Vorteile ausgeführt werden können. In der Ausführungsform nach **Fig. 1** und gemäß den Prinzipien und Aspekten der vorliegenden Erfindung nimmt der Meßwandler **10** intern mehrere Abstandsberechnungen vor, wobei er diese Berechnungen zur Voraussage der nächsten Position des Magneten **19** verwendet und hierauf die vorausgesagte digitale Berechnung gemäß den während der Eichung des Meßwandlers **10** aufgezeichneten Daten abgleicht. Der abgeglichene digitale Wert wird hierauf zum "künstlichen" Erzeugen eines Paares von Ausgangsimpulsen **45** und **46** verwendet, wobei die Zeitdauer zwischen den Impulsen im Verhältnis zu dem abgeglichenen digitalen Wert steht. Dementsprechend empfängt das Steuersystem **54** weiter das von ihm benötigte gepulste Ausgangssignal, wobei jedoch die erforderlichen Abgleiche in bezug auf den Meßwandler **10** intern vorgenommen werden, was keine Änderungen an dem Steuersystem und kein Programmieren des Steuersystems durch den Anwender erfordert.

Genauer wird die Zeitdauer zwischen dem Abfrageimpuls **39** und dem Antwortimpuls **23** in der Ausführungsform nach **Fig. 1** durch eine Zeitgeber/Positionsrechnerschaltung **37** gemessen. Gemäß den im Gebiet bekannten Prinzipien wird die Schaltung **37** bevorzugt als Bestandteil einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC) **32** vorgesehen. Alternativ ist jedoch die Bereitstellung eines getrennten Bauelements vorgesehen. Zum Beispiel könnte die Schaltung **37** eine integrierte programmierbare Intervallzeitgebererschaltung (oder eine integrierte Zählerschaltung) zum Ausführen der Zeitmessung sowie eine integrierte Multipliziererschaltung zum Ausführen der Positionsrechnung umfassen. Außerdem ist beabsichtigt, daß zum Ausführen der Operationen dieser Schaltungen weitere Controller und Prozessoren verwendet werden könnten.

Die Zeitgeber- und Positionsrechnerschaltung **37** steht in Verbindung mit der Spule **22** und mit dem Impulsgenerator in dem Steuersystem **54** (d. h., sie liefert wie etwa z. B. über eine elektrische Verbindung Signale an sie und/oder empfängt Signale von ihnen). Der Zeitgeber/Positionsrechner **37** mißt die Zeitdauer zwischen dem Erzeugen des Abfrageimpulses **39** von dem Steuersystem **54** und dem Erzeugen des Antwortimpulses **23** an der Spule **22**. Bevorzugt findet diese Zeitgebungsoperation mit einer sehr hohen Auflösung wie etwa z. B. mit einer Auflösung von 61 Pikosekunden statt. Hierauf berechnet die Schaltung **37** aus dieser gemessenen Zeit wie etwa unter Verwendung der obenbeschriebenen Gleichung die Magnetposition **D**. Bevorzugt liefert das Steuersystem **54** alle 1 Millisekunden einmal einen Abfrageimpuls **39**.

Außerdem enthält die Elektronik **30** einen mit der Zeitgeber/Positionsrechnungsschaltung **37** in Verbindung stehenden Mikroprozessor **34** und einen nichtflüchtigen Speicher **36**. Obgleich wie im Gebiet bekannt getrennte Bauelemente vorgesehen werden könnten, sind der Mikroprozessor **34** und der nichtflüchtige Speicher **36** bevorzugt in der ASIC **32** integriert. Der Mikroprozessor **34** könnte irgendeinen einer Vielzahl digitaler Prozessoren oder Controller oder eine Verarbeitungsschaltungsanordnung umfassen. Bevorzugt empfängt der Mikroprozessor **34** den Impuls **39**, so daß er beim Vornehmen einer neuen Messung informiert wird. Hierauf speichert der Mikroprozessor **34** beim Empfang einer berechneten Position von der Schaltung **37** die berechnete Position in einem Positionshistoriespeicher **35**, der ein integrales Bauelement des Mikroprozessors sein kann. Alternativ könnte der Speicher **35** eine getrennte Speicherein-

heit aufweisen. Falls die Voraussage der Position anhand mehr als zweier gespeicherter Positionen erwünscht ist, wird hierauf diese Historie der im Speicher 35 gespeicherte Positionen durch den Mikroprozessor 34 wie etwa unter Verwendung einer mathematischen Extrapolation aus den vorausgehenden zwei gespeicherten Positionen oder unter Verwendung irgendeines geeigneten Kurvenanpassungsverfahrens zur Voraussage der momentanen Position des Magneten 19 verwendet.

In Fig. 2 ist ein Beispiel der im Speicher 35 gespeicherten Daten gezeigt. Für jedes der vorausgehenden zwei Abfrageimpulsintervalle berechnet die Schaltung 37 eine Position, während der Mikroprozessor 34 diese Positionen im Speicher 35 speichert. Beispiele dieser zwei vorausgehenden Positionen sind an den Datenpunkten 70 und 72 aus Fig. 2 gezeigt. Aus diesen Historiendaten kann der Mikroprozessor 34 hierauf wie etwa unter Verwendung einer Extrapolation oder eines Kurvenanpassungsverfahrens die Position des Magneten 19 beim Start des momentanen Abfrageimpulses voraussagen oder vorwegnehmen. In dem Beispiel aus Fig. 2 würde die Position 76 beim Start des momentanen Abfrageimpulses durch den Mikroprozessor 34 unter Verwendung eines linearen Extrapolationsalgorithmus vorausgesagt.

Nach dem Berechnen dieses vorausgesagten Positionswerts gleicht ihn der Mikroprozessor 34 dann unter Verwendung eines im Speicher 36 gespeicherten Korrekturfaktors und gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung in bezug auf Abweichungen ab oder kompensiert ihn mit dessen Hilfe. Als Beispiel könnte der Speicher 36 einen elektrisch löschbaren programmierbaren Nur-Lese-Speicher (EEPROM) aufweisen. In dem Speicher 36 sind mehrere Positionen und für jede dieser Positionen ein Korrekturfaktor, der die besonderen Eigenschaften (z. B. die Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Nichtlinearität) der Meßwandler-Bauelemente in Rechnung stellt, gespeichert. Diese Daten können nach Art einer Nachschlagtabelle (LUT) gespeichert sein. Wie unten ausführlicher beschrieben wird, können die Daten in dem Speicher 36 gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung während der Eichung des Meßwandlers 10 erzeugt werden.

Unter Verwendung der vorausgesagten Position greift der Prozessor 34 auf einen dieser Position entsprechenden Korrekturfaktor zu oder "schlägt diesen nach". Zum Beispiel könnte der Prozessor einen Korrekturfaktor direkt aus dem Speicher 36 nachschlagen. Alternativ könnte der Prozessor die Daten beim Hochfahren aus dem Speicher 36 in einen internen Speicher herunterladen und die Korrekturfaktoren hierauf aus diesem internen Speicher auswählen. Hierauf addiert der Prozessor 34 den ausgewählten Korrekturfaktor zu der vorausgesagten Position (oder wendet ihn anderweitig an), um eine kompensierte Position zu erzeugen.

Außerdem steht der Mikroprozessor (oder Controller) 34 in Verbindung mit einem Ausgangsimpulsgenerator 40, der bevorzugt Bestandteil der ASIC 32 ist. Der Ausgangsimpulsgenerator 40 empfängt von dem Prozessor 34 die kompensierte vorausgesagte Position (einen digitalen Wert) und erzeugt zwei Impulse (45 und 46), wobei die Zeitdauer zwischen den Impulsen proportional zu der Größe dieses digitalen Werts ist.

Der erste Ausgangsimpuls (der "Start"-Impuls) 46 wird jedesmal erzeugt, wenn das Steuersystem 54 einen Abfrageimpuls 39 liefert. Hierauf verwendet die Ausgangsimpuls-Generatorschaltung 40 irgendeinen geeigneten Zeitgebungs- oder Zählmechanismus wie etwa die Zählerschaltung 42 in Verbindung mit einer Abgriff-Verzögerungsschaltung 44 zum Erzeugen des Stopp-Ausgangsimpulses 45.

Zunächst wird der kompensierte Positionswert unter Verwendung der obenbeschriebenen linearen Gleichung und der vorgegebenen Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit durch den Ausgangsimpulsgenerator 40 in einen Zeitwert umgesetzt. Alternativ könnte die Umsetzung des kompensierten Positionswerts in einen Zeitwert in dem Prozessor 34 oder in einem getrennten Prozessor stattfinden. Hierauf wird die Zählerschaltung 42 des Impulsgenerators zum Zählen dieses Zeitwerts mit einer "groben" Auflösung verwendet. Die Zählintervalle (die Auflösung) der Zählerschaltung 42 sind jedoch verhältnismäßig groß, so daß ein Zähler mit einer feineren Auflösung oder eine Verzögerungsschaltung bevorzugt wird. Zum Beispiel könnte die Zählerschaltung 42 einen digitalen 2 MHz-Taktgeber umfassen, der eine grobe Zeit (innerhalb 500 Nanosekunden) erzeugt.

Um eine feinere Auflösung (und somit eine bessere Korrelation zwischen der Zählung und dem kompensierten Positionswert zu erhalten) zu erhalten, enthält die ASIC 32 in der Ausführungsform nach Fig. 1 eine Abgriff-Verzögerungsschaltung 44 zum Takten oder Zählen des verbleibenden Anteils desjenigen Zeitwerts, der der von dem Mikroprozessor 34 eingespeisten kompensierten Position entspricht. Zum Beispiel könnte eine Abgriff-Verzögerung von 61 Pikosekunden verwendet werden. Auf diese Weise wird der Hauptanteil des digitalen Zeitwerts unter Verwendung des Zählers 42 gezählt, während der Rest unter Verwendung der Abgriff-Verzögerung 44 gezählt wird. Zum Beispiel könnte der ganzzahlige Teil des abgeglichenen Positionswerts unter Verwendung des Zählers 42 gezählt werden, während der gebrochene Teil unter Verwendung der Abgriff-Verzögerungsschaltung 44 gezählt werden könnte. Obgleich alternativ zu der Kombination des Zählers 42 und der Abgriff-Verzögerung 44 aus Fig. 1 Standardoszillatoren, -taktgeber, -zeitgeber oder -zähler verwendet werden könnten, erzielt die Verwendung solche Bauelemente typischerweise möglicherweise nicht die durch die grobe Zählung des Zählers 42 in Verbindung mit der feinen Zählung der Abgriff-Verzögerung 44 gelieferte Auflösung. In der bevorzugten Ausführungsform liefert der Ausgangsimpulsgenerator 40 der ASIC 32 eine Auflösung von etwa 122 Pikosekunden oder weniger, d. h., die Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 kann um 122-Pikosekunden-Intervalle inkrementiert oder dekrementiert werden, was (für einen Gradienten von 2830 Metern pro Sekunde) eine Darstellung der kompensierten Position von dem Prozessor 34 in Intervallen von etwa 0,35 Mikrometern ermöglicht. Um den Anforderungen von Anwendungen zu entsprechen, die Messungen mit einer Auflösung von wenigstens 5 Mikrometern erfordern, wird außerdem (für einen Gradienten von 2830 Metern pro Sekunde) bevorzugt eine Auflösung von 1767 Pikosekunden oder weniger geliefert. Obgleich die Kombination des Zählers 42 und der Abgriff-Verzögerungsschaltung 44 eine Möglichkeit bietet, eine so hohe Auflösung zu erzielen, kann selbstverständlich irgendein geeigneter Zähl- oder Zeitgebungsmechanismus verwendet werden, der die gewünschte Auflösung erzielen kann, ohne vom Umfang dieser Erfindung abzuweichen. Außerdem kann zum Erzielen des gleichen Zwecks wie die Kombination des Zählers 42, der Abgriff-Verzögerung 44 und des Impulsgenerators 40 aus Fig. 1 ebenfalls ein Impulsgenerator mit einer integralen Zählfähigkeit verwendet werden kann.

Mit einem Wort, der Ausgangsimpulsgenerator 40 erzeugt beim Start des Abfrageimpulses 39 einen ersten Impuls (Start-Impuls) 46. Hierauf berechnet der Mikroprozessor 34 aus der Historientabelle 35 eine vorausgesagte Position, kompensiert die vorausgesagte Position unter Verwendung der Daten in der Tabelle 36 und liefert die kompensierte Position an den Ausgangsimpulsgenerator 40. (Alter-

nativ könnte der Mikroprozessor die berechneten Positionen von der Schaltung 37 empfangen und sie vor dem Speichern in der Historientabelle 35 kompensieren. Hierauf könnte der Mikroprozessor aus den im voraus kompensierten Positionen in der Tabelle 35 eine vorausgesagte Position berechnen und diese kompensierte vorausgesagte Position in den Impulsgenerator 40 einspeisen.) Diese kompensierte Position wird hierauf in einen zeitbezogenen Wert t umgesetzt. Die Zeitdauer t kann durch Dividieren der kompensierten Position durch einen Standardgradienten (z. B. 2830 m/s), der in sämtliche Steuersysteme 54 zu programmieren ist, die den Meßwandler 10 nutzen, und der zum Eichen der Kompensationstabelle 36 verwendet wurde, berechnet werden. Der Zähler 42 und die Abgriff-Verzögerung 44 zählen dann die der kompensierten Position entsprechende Zeitdauer t ab. Nach Abschluß der Zählung durch die Abgriff-Verzögerung 44 erzeugt der Ausgangsimpulsgenerator 40 wie etwa durch Auslösen einer steigenden oder fallenden Flanke oder durch andere Impulserzeugungsverfahren einen zweiten Impuls 45. Dementsprechend beruht die Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 auf der durch den Zähler 42 und durch die Abgriff-Verzögerung 44 gezählten Zeit, wobei die durch den Zähler und durch die Abgriff-Verzögerungsschaltung gezählte Zeit proportional zu dem kompensierten Positionswert von dem Prozessor 34 ist. Folglich ist die Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 direkt proportional zur Größe des kompensierten Positionswerts, der, wie unten ausführlicher geschildert wird, durch den Prozessor 34 unter Verwendung eines vorgegebenen Korrekturfaktors aus den in dem Speicher 36 gespeicherten Korrekturfaktoren berechnet wird. Die Kompensationstabellen im Speicher 36 ermöglichen ein Kompensieren der vorausgesagten Positionen, um den Betrag, um den die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters 16 von dem Standardwert (z. B. 2830 m/s) abweicht, sowie Nichtlinearitäten in Rechnung zu stellen.

Die Ausgangsimpulse 45 und 46 werden über die Leitung 47 an das Steuersystem 54 geliefert. Das Steuersystem 54 mißt hierauf die Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 und berechnet anhand der Zeitdauer t wie etwa unter Verwendung der obenbeschriebenen Gleichung eine Position. Die in dem Steuersystem 54 zum Ausführen der Berechnung verwendete Ausbreitungsgeschwindigkeit kann dauerhaft auf einen beliebigen, beim Aufstellen der Daten der LUT 36 und beim Ermitteln der Zeitdauer t verwendeten vorgegebenen Standardwert abgeglichen sein. Somit braucht der Anwender beim Austausch der Meßwandler 10 das Steuersystem 54 nicht neu zu programmieren, sondern kann statt dessen lediglich den Meßwandler 10 durch einen anderen Meßwandler ersetzen, der ebenfalls ein gepulstes, für diese Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit (z. B. 2830 m/s) im voraus kompensiertes Ausgangssignal oder "Standard-"Ausgangssignal besitzt.

Der Ablaufplan aus Fig. 3a zeigt ein mögliches Verfahren zum Aufstellen der LUT in dem Speicher 36 des Meßwandlers 10 aus Fig. 1 oder zum anderweitigen Eichen von Korrekturdaten für einen Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung. Nach der Montage des Meßwandlers kann der Meßwandlermagnet an der Start-Position (Minimalposition) des Takts längs des Meßwandlergehäuses angeordnet werden. Dies ist im Schritt 200 aus Fig. 3a gezeigt. Hierauf erzeugt ein Impulsgenerator einen Abfrageimpuls, der über einen Leiter in dem Wellenleiter oder über den Wellenleiter selbst eingespeist wird. Dies ist im Schritt 202 gezeigt.

Hierauf empfängt eine Zeitgeberschaltung einen Antwortimpuls von der Spule und mißt die Zeitdauer t_0 zwischen dem Erzeugen des Abfrageimpulses und dem Emp-

fang des Antwortimpulses. Dies ist als Block 204 gezeigt. Hierauf wird im Schritt 206 die Zeitdauer t_0 zum Berechnen der Magnetposition D_1 unter Verwendung der tatsächlichen Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit v_a , wie etwa unter Verwendung der obenbeschriebenen Gleichung, die den Abstand, die Geschwindigkeit und die Zeit verknüpft, verwendet. Wie oben angemerkt wurde, weicht diese berechnete Position wegen Bauelementabweichungen und -toleranzen wie etwa wegen Nichtlinearitäten oder anderen Eigenheiten des Wellenleiters typischerweise etwas von der tatsächlichen Position des Magneten ab. Außerdem weicht diese berechnete Position etwas von derjenigen ab, die unter Verwendung einer "Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit" berechnet worden wäre. Dementsprechend wird im Schritt 208 unter Verwendung einer geeigneten Präzisionsmeß- oder Eichvorrichtung wie etwa z. B. eines Laserinterferometers die tatsächliche Position (D_a) des Magneten gemessen.

Die Differenz zwischen der berechneten Position (D_1) aus dem Block 206 und der tatsächlichen Position (D_a) aus dem Block 208 ist der Korrekturfaktor (CF), der verwendet werden sollte ($CF = D_1 - D_a$). Diese Berechnung des Korrekturfaktors (CF) ist im Block 209 aus Fig. 3a gezeigt. Der Korrekturfaktor (CF) sollte dann zusammen mit der entsprechenden berechneten Position (D_1) wie etwa in einer nichtflüchtigen Speichereinheit und in einer Weise, die zeigt, daß die zwei Werte in Verbindung stehen oder einander entsprechen, gespeichert werden. Dies ist im Block 210 aus Fig. 3a gezeigt.

Hierauf wird im Schritt 212 entschieden, ob die Eichung abgeschlossen ist (d. h., ob der Magnet das Ende des Takts erreicht hat). Da hierbei eine höhere Genauigkeit geliefert wird, ist dabei typischerweise eine große Anzahl von Datenpunkten über einer breiten Vielfalt von Magnetpositionen über den gesamten Takt des Magneten wünschenswert. Falls die Daten nicht für den gesamten Verschiebungsbereich des Magneten gespeichert wurden (d. h., falls sich der Magnet nicht in der End- oder Maximalposition befindet), wird der Schritt 213 ausgeführt und der Magnet um ein vorgegebenes Inkrement verschoben. Obgleich je nach gewünschter Genauigkeit andere Inkremente wie etwa z. B. ein Inkrement im Bereich von 0,2 mm bis 0,5 mm verwendet werden könnten, werden bevorzugt Inkremente von etwa 0,1 mm verwendet. Hierauf werden die Schritte 202 bis 212 für die neue Magnetposition wiederholt.

Falls jedoch ausreichend Daten gespeichert wurden, ist die Konstruktion des Meßwandlers abgeschlossen, wobei die gespeicherten Eichdaten in den Meßwandler aufgenommen werden. Dieser Schritt ist als Block 214 aus Fig. 3a gezeigt.

Als Alternative zu dem in Fig. 3a beschriebenen inkrementellen Verschiebungsverfahren könnte die Eichung mit einer fortwährenden Verschiebung des Magneten über die Länge des Wellenleiters durchgeführt werden. Bei diesem Verfahren werden während des Verschiebens des Magneten periodische Positionsrechnungen vorgenommen. Jede periodische Positionsrechnung wird mit einer gleichzeitigen Berechnung der tatsächlichen Position koordiniert. Durch das periodische Aufnehmen von Messungen oder "Schnappschüssen" während des Verschiebens des Magneten können dementsprechend mehrere berechnete Positionen und ihre zugeordneten tatsächlichen Positionen entwickelt werden. Aus diesen Daten können hierauf Korrekturfaktoren entwickelt werden. Als eine weitere mögliche Abwandlung braucht die tatsächliche Position des Magneten während dieser fortwährenden Verschiebung nicht gemessen zu werden, wenn der Magnet gemäß einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil in der Weise verschoben wird, daß die

tatsächliche Position des Magneten zu irgendeinem gegebenen Zeitpunkt während der Verschiebung aus dem Profil ermittelt werden kann.

Sobald die Eichung abgeschlossen ist, kann hierauf der Betrieb des Meßwandlers unter Verwendung der erzeugten Korrekturdaten beginnen. Fig. 3b ist ein Ablaufplan, der den Betrieb eines Meßwandlers mit gepulstem Ausgangssignal mit solchen Korrekturfaktoren zur Linearisierung und/oder Standardisierung zeigt. In Schritt 218 wird durch einen Impulsgenerator wie etwa von einem Steuersystem oder von dem Meßwandler selbst ein Abfrageimpuls gesendet. Als Antwort auf diesen Abfrageimpuls wird im Schritt 220 von dem Meßwandler auf einem Ausgangspin oder auf einer Ausgangsleitung ein Start-Impuls ausgegeben. Dies könnte durch Bereitstellen einer von dem Abfrageimpuls ausgelösten Impulsgeneratorschaltung oder durch die Übergabe des Abfrageimpulses als ein Ausgangssignal des Meßwandlers erreicht werden.

Hierauf wird im Schritt 222 unter Verwendung einer gespeicherten Historie früherer Positionsberechnungen für frühere Abfrageimpulse eine Position (D_p) vorausgesagt. Wie oben beschrieben wurde, kann dies unter Verwendung eines Extrapolations- oder Kurvenanpassungsverfahrens bewirkt werden. Diese gespeicherten Positionsberechnungen werden bevorzugt im voraus unter Verwendung ihres geeigneten Korrekturfaktors kompensiert.

Dementsprechend braucht an der vorausgesagten Position D_p keine weitere Kompensation vorgenommen zu werden.

Sobald die im voraus kompensierte vorausgesagte Position D_p des Magneten berechnet ist, wird der Wert unter Verwendung der Gleichung $t_1 = D_p/v_s$, wobei die Geschwindigkeit v_s auf einen vorgegebenen "Standard"-Wert eingestellt wird, der auch in dem Steuersystem verwendet wird, an das der Meßwandler angeschlossen ist, zurück in einen Zeitwert umgesetzt. Dies ist ein "Standardisierungs"-Schritt für das gepulste Ausgangssignal des Meßwandlers, so daß das Meßwandler-Ausgangssignal einer vorgegebenen "Standard"-Ausbreitungsgeschwindigkeit entspricht, die für sämtliche so programmierten Meßwandler sowie für sämtliche Steuersysteme, mit denen diese Meßwandler verwendet werden, zu verwenden ist. Dies ist im Schritt 224 aus Fig. 3b gezeigt.

Sobald die Zeit t_1 berechnet wurde, kann sie verwendet werden, um das Erzeugen eines Stopp-Impulsausgangssignals auf der Ausgangsleitung des Meßwandlers zu veranlassen. Zum Beispiel kann, sobald der "Start"-Impuls geliefert wurde (im Schritt 220), ein Taktgeber zu laufen beginnen, während ein "Stopp"-Impuls ausgelöst werden kann, sobald der Taktgeber die berechnete Zeit t_1 erreicht. Dies ist als Schritt 226 in Fig. 3b gezeigt.

Im Schritt 228 wird als Reaktion auf den Abfrageimpuls ein Antwort- oder Rückimpuls von dem Modenumwandler (z. B. von der Spule) empfangen. Hierauf wird die Zeitdauer t_2 zwischen dem Abfrageimpuls und dem Antwortimpuls gemessen.

Hierauf kann im Schritt 230 unter Verwendung der Gleichung $D = v_a \cdot t_2$, wobei v_a gleich der tatsächlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenleiters (oder gleich einer anderen Ausbreitungsgeschwindigkeit, solange sie mit der während der Eichung im Schritt 206 aus Fig. 3a verwendeten übereinstimmt) gesetzt wird, die Position des Magneten berechnet werden. Sobald die Position (D) des Magneten berechnet ist, kann im Schritt 232 aus einer Tabelle oder aus einer Datenspeichervorrichtung ein Korrekturfaktor (CF) "nachgeschlagen" oder ausgewählt werden. Zum Beispiel kann die vorausgesagte Position in einem Datenfeld, in einer Liste oder in einer Tabelle von während der Eichung gespeicherten Positionen aufgefunden werden, wobei der Korrektur-

turfaktor für diese übereinstimmende Position ausgewählt werden kann. Falls keine Übereinstimmung gefunden werden kann, kann, wie etwa unter Verwendung einer linearen Interpolationsformel, aus den Korrekturfaktoren für die vorausgehenden und für die nachfolgenden Positionen in der Liste ein Korrekturfaktor interpoliert werden.

Hierauf kann im Schritt 234 unter Verwendung des aus der Tabelle ausgewählten (oder aus den Daten in der Tabelle interpolierten) Korrekturfaktors (CF) ein "kompensierter" oder standardisierter Positionswert (D_c) berechnet werden. Zum Beispiel kann die kompensierte Position (D_c) durch Addieren des Korrekturfaktors zu der berechneten Position (D) berechnet werden. Dieser Schritt "linearisiert" die berechnete Position, so daß nichtlineare Abweichungen beseitigt werden. Um während zukünftiger Ausführungen des Schrittes 222 die Voraussage späterer Positionen zu ermöglichen, wird die kompensierte Position (D_c) hierauf in einem Speicher für die vergangene Historie gespeichert.

Hierauf empfängt das gegenüber dem Meßwandler externe Steuersystem den in den Schritten 220 und 226 "künstlich" durch den Meßwandler erzeugten Start- und Stopp-Impuls und mißt die Zeitdauer t_3 zwischen den zwei Impulsen. Dies ist in Schritt 236 aus Fig. 3b gezeigt. Diese Zeit t_3 sollte annähernd gleich der oben diskutierten Zeit t_1 sein. Unter Verwendung dieser Zeitmessung t_3 kann das Steuersystem unter Verwendung der Formel $D_{cs} = v_s \cdot t_3$ die Position (D_{cs}) berechnen. Dieser Schritt ist im Block 238 gezeigt. Die im Schritt 238 durchgeführte Steuersystemberechnung (D_{cs}) sollte annähernd gleich der im Schritt 222 berechneten vorausgesagten kompensierten Position (D_p) sein.

Da die Meßwandler-Ausgangsimpulse auf diese Geschwindigkeit "standardisiert" wurden, braucht das Steuersystem somit nur einmal mit einer einzigen Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s programmiert zu werden. Solange der neue Meßwandler ebenfalls ein gemäß der vorliegenden Erfindung auf diese Geschwindigkeit standardisiertes Ausgangssignal enthält, braucht der Anwender bei der Montage eines neuen Meßwandlers keine Zeit zum Neuprogrammieren dieser Geschwindigkeit aufzuwenden. Nachfolgend werden Fehler wegen falscher Programmierung vermieden, während keine Programmierkenntnisse erforderlich sind. Da das Ausgangssignal durch die Verwendung der Korrekturfaktoren linearisiert wurde, werden außerdem Fehler wegen der Nichtlinearität beseitigt.

Eine Alternative zu den in Fig. 3b gezeigten Schritten wäre die Speicherung der nichtkompensierten Positionen (D) in dem Speicher für die vergangene Historie. In diesem Fall würde die vorausgesagte Position (D_p) nicht im voraus kompensiert. Zum Erzeugen der kompensierten Position (D_c) müßte dementsprechend der Korrekturfaktor (CF) für jede vorausgesagte Position (D_p) nachgeschlagen und zu der vorausgesagten Position (D_p) addiert werden. Dann würde die Zeit (t_1) aus der im nachhinein kompensierten vorausgesagten Position (D_c) berechnet und aus der Zeit t_1 der Stopp-Impuls erzeugt. Außerdem würden in dieser Alternative die nichtkompensierten Positionen (D) direkt in der Historie gespeichert.

Aus der obigen Beschreibung ist außerdem selbstverständlich, daß die Schritte 220 bis 226 und 236 bis 238 bevorzugt gleichzeitig mit den Schritten 228 bis 234 bearbeitet werden. Mit anderen Worten, das Senden des Abfrageimpulses im Schritt 218 löst einen ersten Prozeß aus, der von den Schritten 228 bis 234 bearbeitet wird. Dieser Prozeß umfaßt das Empfangen des Rückimpulses von der Spule, das Berechnen einer Position anhand der Zeitdauer zwischen dem Abfrageimpuls und dem Rückimpuls, das Nachschlagen eines Korrekturfaktors und das Berechnen und

Speichern einer kompensierten Position. Der Abfrageimpuls aus Schritt 218 löst außerdem einen zweiten Prozeß aus, der von den Schritten 220 bis 226 führt und zu den Schritten 236 bis 238 fortgesetzt wird. Die Schritte dieses Prozesses umfassen das Liefern des Start-Impulses, das Voraussagen einer kompensierten Position aus den gespeicherten kompensierten Positionen, das Berechnen einer Zeit aus der vorausgesagten Position, das Erzeugen eines Stopp-Impulses aus der berechneten Zeit, das Empfangen des Start- und des Stopp-Impulses und das Messen der Zeitdauer zwischen ihnen sowie das Berechnen einer Position aus der gemessenen Zeitdauer.

Die Tabelle aus Fig. 4a liefert ein Beispiel von Daten, die während der Schritte 200-212 aus Fig. 3a aufgenommen werden könnten. Für jede unter Verwendung der Wellenleitergeschwindigkeit und unter Annahme der Linearität berechnete Magnetposition (D_1) in Spalte 250 enthält die Spalte 252 eine manuell bevorzugt so genau wie möglich wie etwa unter Verwendung eines Laserinterferometers gemessene tatsächliche Magnetposition (D_2). Die Differenzen zwischen den zwei Spalten in der Tabelle aus Fig. 4a sind eine Folge der in dem Meßwandler gelieferten Abweichungen. Genauer können die Differenzen im Kontext magnetostriktiver Meßwandler durch die Nichtlinearität oder durch andere physikalische Eigenheiten oder Materialeigenheiten verursacht sein.

Die Differenzen zwischen den Daten in den Spalten 250 und 252 aus Fig. 4a können hierauf zum Erzeugen der Korrekturfaktoren verwendet werden, wie sie etwa in Fig. 4b gezeigt sind. Jede berechnete Position in der Spalte 250 besitzt einen durch Ermitteln der Differenz zwischen der tatsächlichen Position aus Spalte 252 von Fig. 4a und der berechneten Position aus der Spalte 250 berechneten entsprechenden Korrekturfaktor 254. Diese Korrekturfaktordaten können paarweise oder nach Art einer ähnlichen Relation in einem nichtflüchtigen Speicher wie etwa in einem EEPROM gespeichert werden. Wie oben beschrieben wurde, kann auf sie dann zugegriffen werden, um während des Gebrauchs die Linearität und Standardisierung zu liefern. Da der Korrekturfaktor weniger Speicher verbrauchen sollte, wird anstelle des tatsächlichen Positionswerts bevorzugt der Korrekturfaktor in dem Speicher gespeichert. Jedoch ist beabsichtigt, daß das Speichern des tatsächlichen Positionswerts als eine mögliche Alternative verwendet werden könnte, die anstelle des Korrekturfaktor-Speicherverfahrens oder zusätzlich zu diesem verwendet werden kann.

Gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung können weitere Ausführungsformen konstruiert werden. Zum Beispiel können anstelle des Ausführens der Umsetzungen auf den Abstand wie in den Fig. 3a und 3b die Eichung und der Betrieb ausschließlich unter Verwendung der Zeitwerte oder zeitbezogener Werte ausgeführt werden. Außerdem können zum Ausführen des Verfahrens als eine Alternative zur obenbeschriebenen Verwendung "vorausgesagter" Werte tatsächlich gemessene Werte verwendet werden. Diese Alternativen sind in den Ablaufplänen nach Fig. 5a und 5b gezeigt. Es ist beabsichtigt, daß entweder mit dem "Voraussage"-Verfahren oder mit dem Verfahren der tatsächlichen Messung die Verwendung von Zeitwerten oder Abstandswerten verwendet werden kann.

In Schritt 502 aus Fig. 5a wird der Meßwandlermagnet in bezug auf den Wellenleiter in eine neue Position verschoben. In Schritt 504 wird hierauf ein Abfrageimpuls über den Wellenleiter gesendet und ein Antwortimpuls von einem Modenumwandler empfangen. Hierauf wird in Schritt 506 die Zeitdauer t_m zwischen dem Abfrageimpuls und dem Antwortimpuls gemessen. Im Schritt 508 wird wie etwa unter Verwendung eines Laserinterferometers eine tatsächliche

Messung der Magnetposition D vorgenommen.

Sobald die tatsächliche Magnetposition bekannt ist, kann durch Dividieren der tatsächlichen Magnetposition D durch eine Standardgeschwindigkeit, v_s ein theoretischer Zeitwert t_s berechnet werden. Dieser Schritt ist in Fig. 5a als Block 510 gezeigt. Der theoretische Zeitwert t_s stellt die Zeitdifferenz zwischen dem Abfrageimpuls und dem Rückimpuls dar, die gemessen worden wäre, wenn der tatsächliche Wellenleiter des Meßwandlers genau die Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s hätte und genau linear arbeiten würde. Natürlich ist dies selten, wenn überhaupt, der Fall, wobei sich der theoretische Zeitwert t_s wegen der Bauelementeabweichungen üblicherweise von dem gemessenen Zeitwert t_m unterscheidet. Dementsprechend wird im Schritt 512 durch Subtrahieren der theoretischen Zeit t_s von der gemessenen Zeit t_m eine Korrekturfaktorzeit t_c berechnet. Hierauf können im Schritt 514 die gemessene Zeit t_m und der Korrekturfaktor t_c als Paar aufgezeichnet werden.

Hierauf wird in Schritt 516 ermittelt, ob das Messen und Aufzeichnen zusätzlicher Korrekturfaktoren für andere Magnetpositionen erwünscht ist. Selbstverständlich wird durch das Aufzeichnen von Korrekturfaktoren für eine große Anzahl von Magnetpositionen über den gesamten Verschiebungsbereich des Magneten eine bessere Genauigkeit erhalten. Eine Zunahme der Anzahl der Eichmessungen erhöht jedoch die Speicheranforderungen. Es wurde festgestellt, das Nehmen von Messungen bei Inkrementen von etwa 1 mm über typische Verschiebungsbereiche für viele industrielle Wellenleiteranwendungen gute Ergebnisse liefert.

Falls keine weiteren Messungen genommen werden sollen, geht das Verfahren zum Schritt 518 über, wobei mit den aufgezeichneten Eichdaten der Meßwandler mit gepulstem Ausgangssignal konstruiert wird. Falls weitere Messungen genommen werden sollen, kehrt das Verfahren zum Schritt 502 zurück, in dem der Magnet längs des Verschiebungsbereichs in eine neue Position verschoben wird.

Sobald der Meßwandler gemäß dem Verfahren aus Fig. 5a geeicht wurde, kann er in der Anwendung montiert werden, wobei seine Ausgangsleitung an das Steuersystem der Anwendung angeschlossen wird. Hierauf kann der Betrieb des Meßwandlers, wie er etwa mit Bezug auf den Ablaufplan aus Fig. 5b beschrieben wurde, beginnen.

In Schritt 520 wird ein Abfrageimpuls über den Wellenleiter gesendet. Durch das Senden dieses Abfrageimpulses wird dann ein "Start"-Impuls ausgelöst und als ein Ausgangssignal des Meßwandlers geliefert. Dieser Schritt ist im Block 522 gezeigt, wobei er z. B. unter Verwendung einer Impulsgeneratorschaltung ausgeführt werden kann.

Hierauf wird in dem Wellenleiter eine mechanische Welle erzeugt, die in dem Modenumwandler einen Antwortimpuls hervorruft. Dieser Schritt ist im Block 524 gezeigt. Im Schritt 526 wird die zwischen dem Abfrageimpuls und dem Empfang des Antwortimpulses vergangene Zeitdauer t_m gemessen und aufgezeichnet. Unter Verwendung dieser Zeitmessung t_m kann wie etwa z. B. durch Durchsuchen einer Nachschlagtabelle oder eines Datenfelds aus den während der Eichung gespeicherten Korrekturfaktoren ein Korrekturfaktor t_c ausgewählt werden. Falls keine Übereinstimmung gefunden wird, kann eine Interpolation aus den gespeicherten Daten verwendet werden. Dieser Schritt ist durch den Block 528 dargestellt.

Sobald der Korrekturfaktor t_c ausgewählt ist, wird er im Schritt 530 zu der gemessenen Zeit t_m addiert, um einen standardisierten und linearisierten Zeitwert t_s zu erzeugen. Dieser Schritt ist im Block 530 gezeigt. Da der Korrekturfaktor anhand einer Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit und unter Verwendung einer linearen Gleichung berechnet wurde, standardisiert der Korrekturfaktor den Zeitwert auf

die Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit und beseitigt irgendeine Nichtlinearität in dem Zeitwert.

Hierauf kann der Zeitwert t_s zum Erzeugen des Ausgangssignals des Meßwandlers verwendet werden. Insbesondere kann beim Liefern des Start-Impulses (Schritt 522) ein Zähler gestartet werden, der nach Berechnen der Zeit t_s mit dieser verglichen wird, um zu ermitteln, ob diese Zeitdauer seit der Erzeugung des Start-Impulses vergangen ist. Der Zähler läuft weiter, bis er den Wert t_s erreicht. Hierauf wird durch den Meßwandler auf seiner Ausgangsleitung wie etwa z. B. unter Verwendung einer Impulsgeneratorschaltung ein Stopp-Impuls erzeugt. Diese Zählungs- und Impulserzeugungsschritte sind in den Blöcken 532 und 534 in Fig. 5b gezeigt.

Das Steuersystem, mit dem der Meßwandler verwendet wird, sollte so konstruiert sein, daß es diesen Start- und Stopp-Impuls von dem Meßwandler empfängt und durch Messen der Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls eine Magnetposition D berechnet. Die gemessene Zeitdauer sollte annähernd gleich t_s sein (obgleich sie je nach der verwendeten Auflösung der Zählkomponenten etwas abweichen kann). Die Position D kann hierauf durch Multiplizieren der gemessenen Zeit (die annähernd t_s sein sollte) mit der Standardgeschwindigkeit v_s berechnet werden. Dieser Schritt ist im Block 536 gezeigt. Damit der Standard-Meßwandler richtig an das Steuersystem angepaßt ist, sollte die in diesem Schritt verwendete Standardgeschwindigkeit die gleiche wie die während des Schritts 510 des Eichprozesses in Fig. 5a verwendete Geschwindigkeit sein. Mit dieser Standardgeschwindigkeit kann eine Anzahl von Meßwandlern geeicht sein, so daß der Anwender den existierenden Meßwandler erforderlichenfalls durch einen neuen ersetzen kann, ohne das Steuersystem neu programmieren zu müssen. Außerdem können die Meßwandler für eine Anzahl weiterer Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeiten geeicht werden, so daß der Anwender eine Anzahl von Standardgeschwindigkeiten besitzen kann, aus denen er auswählen kann.

Damit die Verfahren aus den Fig. 5a und 5b richtig funktionieren, sollte die tatsächliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Meßwandlerwellenleiters schneller als die verwendete standardisierte Geschwindigkeit v_s sein. Andernfalls ist die gemessene Zeit t_m im Schritt 526 größer als die standardisierte Zeit t_s aus Schritt 530, wobei der Zähler im Schritt 532 in diesem Fall beim Messen der Zeit t_m den standardisierten Zeitwert t_s bereits übertroffen hat. Dementsprechend könnte (ohne eine gewisse frühere Kenntnis der gemessenen Zeit t_m) kein genauer Stopp-Impuls geliefert werden. Um dieses Problem zu vermeiden, kann die in den Fig. 5a und 5b verwendete Standardgeschwindigkeit v_s auf einen Wert abgeglichen werden, der niedriger als die für irgendeinen gegebenen Wellenleiter erwartete Ausbreitungsgeschwindigkeit ist. Zum Beispiel könnte die Standardgeschwindigkeit auf einen Wert von etwa 2800 m/s abgeglichen werden.

Außerdem sollte sichergestellt werden, daß das Zeitintervall zwischen den im Schritt 520 erzeugten Abfrageimpulsen größer als die größte Zeitdauer t_s (zwischen den Start- und Stopp-Impulsen) ist, deren Erzeugen durch den Meßwandler zu erwarten ist. Zum Beispiel beträgt der größte Zeitwert t_s für einen Verschiebungsbereich (Takt) des Magneten von 4 Metern und für eine Standardgeschwindigkeit von 2800 m/s 0,0014286 Sekunden. Somit sollte die Periode zwischen den Abfrageimpulsen größer als dieser Wert sein. Außerdem sollte eine Anpassung an die zum Nehmen der Zeitmessung, zum Ausführen der Korrektur unter Verwendung des Korrekturfaktors und zum Liefern der Ausgangsimpulse erforderliche Verarbeitungszeit vorgenommen werden. Falls die Abfrageimpulsperiode z. B. genau gleich dem

größten möglichen Zeitwert wäre, würde beim Messen der Maximalposition keine Zeit zum Ausführen der Korrektur und zum Liefern der Ausgangsimpulse verbleiben.

Fig. 6 ist eine graphische Darstellung, welche die Wirkung der durch die Verwendung der vorliegenden Erfindung in beispielhaften Meßwandleranordnungen gelieferten Linearisierung und Standardisierung zeigt. Die Gerade 610 stellt die Antwort eines idealen Meßwandlers mit einem vollständig linearen Wellenleiter und mit einer Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s dar. Die Zeitdauer zwischen den Ausgangsimpulsen wäre mit der entsprechenden tatsächlichen Position des Magneten vollständig linear verknüpft. Die Antwort eines idealen Wellenleiters mit einer niedrigeren Geschwindigkeit v_s' ist als die Gerade 630 gezeigt.

Ein tatsächlicher Wellenleiter könnte jedoch über den Magnet-Takt Daten erzeugen, wie sie den Datenpunkten 600 entsprechen. Wie Fig. 6 zeigt, genügen diese Daten keiner vollständig linearen Funktion. Außerdem ist die (durch die Gerade 640 gezeigte) durchschnittliche Ausbreitungsgeschwindigkeit v_a für diesen Wellenleiter größer als die den idealen Funktionen 610 und 630 entsprechende. Gemäß der vorliegenden Erfindung, wie sie etwa oben mit Bezug auf verschiedene Ausführungsformen beschrieben wurde, können diese Abweichungen durch Ermitteln eines Korrekturfaktors 620 für jeden Datenpunkt 600 beseitigt werden. Während des Gebrauchs kann dann auf die Korrekturfaktoren 620 zugegriffen werden, um zu erzwingen, daß das Meßwandler-Ausgangssignal die Antwort 610 eines vollständig linearen Wellenleiters mit der Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit v_s simuliert. (Selbstverständlich könnten die Korrekturfaktoren 620 alternativ in der Weise berechnet werden, daß sie irgendwelche anderen idealen Antworten für andere schnellere oder langsamere Geschwindigkeiten wie etwa die Antwort 630 simulieren. Da der Meßwandler an die Simulation irgendeiner Ausbreitungsgeschwindigkeit angepaßt werden kann, kann die Standard- oder Idealggeschwindigkeit somit an eine beliebige vom Endanwender gewünschte Standardgeschwindigkeit angepaßt werden und braucht nicht aus einer beschränkten Menge von Werten ausgewählt zu werden.) Das Steuersystem kann dann einmal mit dieser Standardgeschwindigkeit v_s programmiert sein. Wenn der Meßwandler ersetzt werden muß, braucht der Anwender lediglich den ursprünglichen Meßwandler durch einen während der Herstellung auf die gleiche Standardgeschwindigkeit v_s geeichten zu ersetzen.

Fig. 7 ist ein Blockschaltplan, der eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. In dieser Ausführungsform ist der Meßwandler in einen Zylinder 700 mit einem verschiebbaren Element eingebettet, das als eine Kolbenstange 702 gezeigt ist, die mit einem Kolbenkopf 703 verbunden ist. In der Stange 702 und in dem Kopf 703 ist eine Bohrung 704 vorgesehen, um den Wellenleiter 710 des Meßwandlers (und irgendein nicht gezeigtes erforderliches Wellenleiter-Montagebauelement oder -Gehäuse) unterzubringen. An oder in dem Kolbenkopf 703 ist ein magnetisches Material 706 vorgesehen, wobei die Position dieses Materials 706 durch den Meßwandler ermittelt werden soll, um die Position des Kopfs 703 anzugeben. (In einer alternativen Anwendung, in der anstelle einer Kolbenposition ein Fluidpegel gemessen werden soll, kann in dem Zylinder 700 ein magnetischer Schwimmer vorgesehen sein, wobei die Position des Fluids durch Erfassen der Position des Schwimmers ermittelt wird).

An einem Ende des Wellenleiters 710 befindet sich eine Spule 716 oder ein anderer Modenumwandler. In der Nähe dieses nahen Endes des Wellenleiters ist außen an dem Zylinder 700 ein Gehäuse 712 der Signalaufbereitungselektro-

nik vorgesehen. Der Wellenleiter 710 und die Spule 716 können durch einen oder durch mehrere geeignete Verbindungen an dem Gehäuse 712 befestigt sein, während das Gehäuse 712 wie etwa z. B. durch ein Gewinde und/oder durch eine Dichtung an dem Zylinder 700 befestigt sein kann. In dem Signalaufbereitungsgehäuse 712 befindet sich eine Signalaufbereitungsschaltung 718. Bevorzugt umfaßt diese Schaltung 718 eine Analog-Digital-Impulsumsetzerschaltung, obgleich eine andere Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung wie etwa eine Verstärkerschaltungsanordnung oder eine Digitalimpuls-Generatorschaltungsanordnung bereitgestellt werden könnte.

Fern von dem eingebetteten Meßwandler befindet sich ein Steuersystem 750, das einen Impulsgenerator zum Liefern eines elektrischen Abfrageimpulses 752 über die Ausgangsleitung 754 enthält. Dieser Impuls 752 wird dann an einen Leiter 711 gesendet, der den Impuls über den Wellenleiter 710 (und zurück an das Steuersystem) leitet. Der Abfrageimpuls 752 wechselwirkt mit dem magnetischen Material 706 des Kolbenkopfs 703, um in dem Wellenleiter eine mechanische Welle zu erzeugen. Wenn die mechanische Welle an der Spule 716 vorbeiläuft, wird an den Spulenanschlüssen ein elektrischer Rückimpuls erzeugt. Der ADC 718 setzt diesen elektrischen Rückimpuls in einen digitalen Impuls 719 um, der, wenn er über einen langen Abstand läuft, stärker immun gegenüber dem Rauschen als ein analoger Impuls ist.

Die Fernelektronik 720 ist fern von der Signalaufbereitungselektronik 718 untergebracht, wobei der digitale Impuls 719 wie etwa z. B. über einen Leiter oder über eine Funkübertragung an die Fernelektronik gesendet wird. Die Fernelektronik 720 schließt die Meßwandlerverarbeitung ab und liefert das Meßwandler-Ausgangssignal. Dadurch, daß diese Elektronik 720 fern vom Rest des Meßwandlers liegt, ist in der Nähe des Zylinders 700 kein großes Gehäuse erforderlich. Da in der Nähe solcher Zylinder der Raum häufig eng ist und da die Gefahr einer Beschädigung an der Elektronik (durch Menschen und/oder Maschinen) höher ist, wenn die Elektronik in der Nähe des Zylinders gehalten wird, ist ein großes Gehäuse in der Nähe des Zylinders 700 unerwünscht. Da in dem Gehäuse 712 nur die Signalaufbereitungselektronik 718 gehalten wird, kann dieses Gehäuse mit einer geringen Größe und mit einer flachen Form bereitgestellt werden, so daß es keinen großen Raumanteil einnimmt und verhältnismäßig unauffällig ist. Da die Elektronik 720 fern liegt, ist außerdem kein Gehäuse für diese Elektronik erforderlich.

Gemäß dieser Ausführungsform enthält die Fernelektronik 720 einen mit der Ausgangsleitung 754 des Steuersystems, mit dem Ausgang des ADCs 718 und mit einem Prozessor 724 in Verbindung stehenden (d. h. Signale von ihnen empfangenden und/oder an sie sendenden) Taktgeber 722. Außerdem steht der Prozessor 724 in Verbindung mit einem zweiten Taktgeber 728, mit einem EEPROM-Speicher 726 und mit einer Impulsgeneratorschaltung 730. Außerdem steht die Impulsgeneratorschaltung 730 in Verbindung mit der Ausgangsleitung 754 des Steuersystems, mit der Eingangsleitung 736 des Steuersystems und mit dem Taktgeber 728. Selbstverständlich könnten die Elemente der Fernelektronik 720 als getrennte digitale und/oder analoge Schaltungen oder Bauelemente bereitgestellt werden, oder sie könnten als eine integrierte Schaltung, als ein Steuerchip oder als eine ASIC bereitgestellt werden.

Im Betrieb beginnt der Taktgeber 722 beim Empfang des Abfrageimpulses 752 von dem Steuersystem 750 mit der Zeitgebung, während er die Zeitgebung beim Empfang des digitalen Impulses 719 von dem ADC 718 anhält. Bevorzugt wird diese Zeitmessung mit einer hohen Auflösung wie etwa

z. B. von 61 Pikosekunden geliefert. Hierauf wird diese gemessene Zeit durch den Taktgeber 722 an den Prozessor 724 geliefert, der sie zur Auswahl eines Korrekturfaktors aus einer in dem EEPROM 726 gespeicherten Nachschlagtabelle (LUT) verwendet. Hierauf addiert der Prozessor 724 den Korrekturfaktor zu der gemessenen Zeit, um einen kompensierten Zeitwert zu erzeugen.

Das Auslösen des Abfrageimpulses 752 bewirkt außerdem, daß die Impulsgeneratorschaltung 730 einen "Start"-Impuls 732 erzeugt, der in den Taktgeber 728 und in den Eingang 736 des Steuersystems eingespeist wird. Beim Empfang des Start-Impulses 732 beginnt der Taktgeber 728 bevorzugt mit einer hohen Auflösung wie etwa z. B. mit einer Auflösung von 61 Pikosekunden zu zählen. Sobald der Prozessor 724 unter Verwendung der Korrekturfaktoren im Speicher 726 einen kompensierten Zeitwert berechnet hat, vergleicht er periodisch den kompensierten Zeitwert mit der durch den Taktgeber 728 gelieferten laufenden Zeit. Sobald der kompensierte Zeitwert gleich oder größer als die laufende Zeit von dem Taktgeber 728 ist, sendet der Prozessor 724 ein Signal an die Impulsgeneratorschaltung 730, welches bewirkt, daß sie einen "Stopp"-Impuls 734 erzeugt. Der Stopp-Impuls 734 wird hierauf in die Eingangsleitung 734 des Steuersystems eingespeist.

Dementsprechend besitzt die Fernelektronik 720 eine gepulste Schnittstelle mit dem Steuersystem 750, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start-Impuls 732 und dem Stopp-Impuls 734 durch das Steuersystem 750 gemessen und in eine Position umgesetzt werden kann. Wie oben beschrieben wurde, linearisieren die Korrekturfaktoren in dem Speicher 726 die gemessene Zeit und standardisieren sie außerdem auf eine vorgegebene Ausbreitungsgeschwindigkeit. Somit braucht das Steuersystem 750 nur einmal mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit programmiert zu werden.

Dadurch, daß die Elektronik 720 fern vom Rest des Meßwandlers liegt, wird außerdem der Raum gespart und die Elektronik vor Beschädigung geschützt. Da digitale Signale stärker immun gegenüber Rauschen als analoge Signale sind, ermöglicht die Analog-Digital-Impulsschaltung 718 außerdem, das digitale Signal 719 weiter zu senden, als wenn es im digitalen Format geblieben wäre. Durch Umsetzen des Antwortimpulses in einen Rechteckimpuls unter Verwendung der Schaltung 718 kann die Fernelektronik 720 dementsprechend weiter entfernt vom Rest des Meßwandlers liegen.

Fig. 8 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung hergestellten, magnetostriktiven Positionssensors. Die Ausführungsform nach Fig. 8 arbeitet in ähnlicher Weise wie die Ausführungsform in Fig. 1. In dieser Ausführungsform wird die Fernelektronik 820 jedoch zwischen der Nahelektronik 30 und dem Steuersystem 54 bereitgestellt. Die Fernelektronik 820 steuert das Erzeugen des Abfragesignals 39 zu dem Wellenleiter 16. Außerdem empfängt die Fernelektronik 820 auf der Leitung 47 den Start-Ausgangsimpuls 46 und den Stopp-Ausgangsimpuls 45 von der Nahelektronik 30. Falls dies erwünscht ist, kann die Fernelektronik 820 nach Messen der Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 die gemessene Zeitdauer t in ein anderes Signal umsetzen.

Zum Beispiel kann die Fernelektronik 820 eine Signalverarbeitungsschaltung 824 enthalten, um die Zeit t zu messen und um die Zeit t unter Verwendung der obenbeschriebenen Gleichung sowie unter Verwendung der durch die Elektronik 30 verwendeten Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit in einen entsprechenden Abstandswert umzusetzen. Wie oben mit Bezug auf die Fig. 1 und 3 beschrieben wurde, wurden die Impulse 45 und 46 zum Beseitigen von Nichtlinearitäten linearisiert und auf eine Standard-Ausbrei-

tungsgeschwindigkeit standardisiert. Somit braucht die Signalverarbeitungsschaltung 824 nur einmal mit der Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit programmiert zu werden. Der durch die Signalverarbeitungsschaltung 824 berechnete Abstandswert kann dann von der Fernelektronik 820 in irgendeinem gewünschten Format wie etwa z. B. in einem SSI-Format (dem Format einer synchronen seriellen Schnittstelle) oder in einem analogen Format, an das Steuersystem 54 geliefert werden. In Fig. 8 ist das gelieferte Format eine zu dem berechneten Abstandswert direkt proportionale analoge Spannung 826. Das Steuersystem 54 kann das analoge Spannungssignal 826 hierauf auf der Leitung 48 empfangen, wobei sie das Signal wie im Gebiet bekannt als Rückkopplung zum Steuern der Maschine 50 verwenden kann. Bevorzugt enthält die Fernelektronik 820 außerdem eine Stromversorgung 822. Dadurch, daß die Stromversorgung 822 fern liegt, kann die Größe des Nahelektronik-Gehäuses 14 verringert werden, was somit ermöglicht, den Meßwandler 10 leichter in enge Anwendungen wie etwa z. B. in Hydraulik- oder Pneumatikzylinder-Anwendungen einzupassen.

Fig. 9 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform eines magnetostruktiven Meßwandlers mit kompensierten Start- und Stopp-Impulsen gemäß der vorliegenden Erfindung. Diese Ausführungsform arbeitet ebenfalls in ähnlicher Weise wie die Ausführungsform nach Fig. 1. In dieser Ausführungsform wird das Abfragesignal 39 jedoch durch eine Signalverarbeitungsschaltung 900 erzeugt. Außerdem werden die kompensierten Start- und Stopp-Impulse 45 und 46 durch diese Signalverarbeitungsschaltung 900 verarbeitet, die dann das Ausgangssignal 926 an das Steuersystem 54 liefert. Bevorzugt ist die Signalverarbeitungsschaltung 900 dieser Ausführungsform Bestandteil der Elektronik 30 und in dem Elektronikgehäuse 14 enthalten. In dieser Ausführungsform empfängt die Signalverarbeitungsschaltung 900 auf der Leitung 47 die kompensierten Start- und Stopp-Impulse 45 und 46 und setzt die Impulse in ein weiteres Signal 926 um, so daß das Signal 926 den zuvor durch die Zeitdauer t dargestellten Abstand darstellt. (Die Impulse 45 und 46 wurden wieder wie oben mit Bezug auf die Fig. 1 und 3 beschrieben zum Beseitigen von Nichtlinearitäten linearisiert und auf eine Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit standardisiert.) Mit anderen Worten, die Signalverarbeitungsschaltung 900 kann die Zeitdauer t zwischen den Impulsen 45 und 46 messen und die Zeitdauer unter Verwendung der Ausbreitungsgeschwindigkeit, auf die die Impulse 45 und 46 standardisiert wurden, in einen Abstandswert umsetzen. Der Abstandswert kann dann durch irgendein gewünschtes Signal 926 wie etwa z. B. durch ein analoges Signal oder durch ein SSI-Signal dargestellt werden. Das Signal 926 wird hierauf über die Leitung 48 durch das Steuersystem 54 empfangen und durch das Steuersystem zum Steuern der Maschine 50 verwendet.

Die vorstehenden Beschreibungen der bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung wurden lediglich zu Erläuterungs- und Beschreibungszwecken dargestellt. Sie sollen nicht erschöpfend sein oder die Erfindung auf die genau offenbarten Formen einschränken, wobei Modifikationen und Abwandlungen im Licht der obigen Lehre möglich und beabsichtigt sind. Obgleich eine Anzahl von bevorzugten und alternativen Ausführungsformen, Verfahren, Systemen, Konfigurationen und möglichen Anwendungen beschrieben wurden, könnten selbstverständlich viele Abwandlungen und Alternativen verwendet werden, ohne von dem Umfang der Erfindung abzuweichen.

Zum Beispiel kann die Erfindung selbstverständlich in einer Vielzahl von Sensoren mit gepulstem Ausgangssignal verwendet werden, wobei sie nicht auf gepulste magneto-

striktive lineare Positionsmeßwandler beschränkt werden soll. Für einen solchen Zustandssensor mit gepulstem Ausgangssignal können die Korrekturfaktoren zum Liefern der Linearität durch Vergleich des Sensor-Ausgangssignals mit einer weiteren Messung berechnet werden. Hierauf können diese Korrekturfaktoren zum Kompensieren der Meßwandlermessung verwendet werden, wobei die Impulse unter Verwendung der kompensierten Messung erzeugt werden können. Zum Beispiel kann die Erfindung auf Temperatur- oder Drucksensoren mit gepulstem Ausgangssignal anwendbar sein. Falls der Korrekturfaktor für sämtliche Meßwandlermessungen der gleiche ist, wäre außerdem keine Nachschlagtabelle oder ähnliche Konstruktion erforderlich, wobei eine einzige Berechnung zum Kompensieren sämtlicher Meßwandlermessungen vorgenommen werden kann.

Obgleich eine Vielzahl möglicher Schaltungskonfigurationen und -bauelemente beschrieben wurden, könnten selbstverständlich außerdem eine Anzahl weiterer Konfigurationen und Bauelemente verwendet werden, ohne von dem Umfang der Erfindung abzuweichen. Wie im Gebiet bekannt ist, können die hier beschriebenen getrennten Bauelemente in einer integrierten Schaltung zusammengefaßt werden und integrale Bauelemente als getrennte Schaltungen bereitgestellt werden. Wie im Gebiet weiter bekannt ist, können verdrahtete Verbindungen zu Funkverbindungen gemacht werden und umgekehrt.

Somit wurden die Ausführungsformen und Beispiele selbstverständlich in der Weise gewählt und beschrieben, daß die Prinzipien der Erfindung und ihre praktischen Anwendungen am besten dargestellt werden, um somit den Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet in die Lage zu versetzen, die Erfindung in den verschiedenen Ausführungsformen und mit verschiedenen, für besondere beabsichtigte Anwendungen geeigneten Modifikationen am besten zu nutzen. Dementsprechend soll der Umfang der Erfindung durch die hier beigefügten Ansprüche definiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Liefern eines kompensierten linearen Positionsmeßwandler-Ausgangssignals, umfassend:
Erzeugen eines Abfragesignals zum Erzeugen einer mechanischen Welle in einem Wellenleiter;
Umsetzen der mechanischen Welle in ein Antwortsignal;
Messen der Zeitdauer zwischen dem Abfragesignal und dem Antwortsignal;
Berechnen einer Position anhand der gemessenen Zeitdauer;
Abgleichen der berechneten Position in der Weise, daß sie mit einem idealen Meßwandler mit einer linearen Wellenleiter-Antwort und mit einer vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit übereinstimmt; und
Erzeugen eines Start-Impulses und eines Stopp-Impulses, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls aus der abgeglichenen Position abgeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend:
Empfangen des Start- und des Stopp-Impulses;
Messen der Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls; und
Umsetzen der gemessenen Zeitdauer in einen Positionswert unter Verwendung der vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit.
3. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend:
Speichern der abgeglichenen Position; und

Voraussagen einer Position anhand der gespeicherten abgeglichenen Position, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls zu der vorausgesagten Position proportional ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Erzeugens des Start- und des Stopp-Impulses umfaßt: Erzeugen des Start-Impulses als Antwort auf das Erzeugen des Abfragesignals; Starten eines Zählers beim Erzeugen des Start-Impulses; und Erzeugen des Stopp-Impulses, wenn der Zähler einen der abgeglichenen Position entsprechenden Wert erreicht.

5. Verfahren zum Liefern eines kompensierten linearen Positionsmeßwandler-Ausgangssignals, umfassend:

- a) Erzeugen eines Abfrageimpulses über einen Leiter zum Erzeugen einer mechanischen Welle in einem Wellenleiter an der Position eines in der Nähe des Wellenleiters angeordneten Magneten;
- b) Erzeugen eines Antwortimpulses aus der mechanischen Welle;
- c) Messen der Zeitdauer zwischen dem Abfrageimpuls und dem Antwortimpuls;
- d) Ermitteln eines digitalen Werts anhand der gemessenen Zeitdauer;
- e) Messen einer tatsächlichen Magnetposition längs des Wellenleiters unter Verwendung einer Meßvorrichtung;
- f) Berechnen eines Korrekturfaktors unter Verwendung der tatsächlichen Magnetposition und des digitalen Werts;
- g) Speichern des Korrekturfaktors im Speicher;
- h) Verschieben des Magneten und Wiederholen der Schritte a bis g;
- i) Berechnen eines abgeglichenen digitalen Werts unter Verwendung eines der gespeicherten Korrekturfaktoren; und
- j) Erzeugen eines Start-Impulses und eines Stopp-Impulses, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls proportional zu dem abgeglichenen digitalen Wert ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der digitale Wert und der Korrekturfaktor Zeiteinheiten umfassen.

7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der digitale Wert und der Korrekturfaktor Einheiten der linearen Position umfassen.

8. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Berechnen des abgeglichenen digitalen Werts folgende Schritte umfaßt:

Messen der Zeitdauer zwischen einem Abfrageimpuls und einem Antwortimpuls;

Ermitteln eines der gemessenen Zeitdauer entsprechenden Meßwerts;

Auswählen eines der gespeicherten Korrekturfaktoren unter Verwendung des Meßwerts; und

Addieren des ausgewählten Korrekturfaktors zu dem Meßwert zum Erzeugen des abgeglichenen digitalen Werts.

9. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Berechnen des abgeglichenen digitalen Werts folgende Schritte umfaßt:

Messen der jeweiligen Zeitdauern zwischen mehreren Abfrageimpulsen und Antwortimpulsen;

Ermitteln der Positionswerte für jede gemessene Zeitdauer;

Speichern der Positionswerte;

Berechnen eines vorausgesagten Positionswerts unter

Verwendung der gespeicherten Positionswerte;

Auswählen eines der gespeicherten Korrekturfaktoren unter Verwendung des vorausgesagten Positionswerts; und

Addieren des ausgewählten Korrekturfaktors zu dem vorausgesagten Positionswert zum Erzeugen des abgeglichenen digitalen Werts.

10. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Berechnen des abgeglichenen digitalen Werts folgende Schritte umfaßt:

Messen der jeweiligen Zeitdauern zwischen mehreren Abfrageimpulsen und Antwortimpulsen;

Ermitteln der Positionswerte für jede gemessene Zeitdauer;

Auswählen eines gespeicherten Korrekturfaktors für jeden Positionswert;

Addieren des ausgewählten Korrekturfaktors zu jedem jeweiligen Positionswert zum Erzeugen von korrigierten Positionswerten;

Speichern der korrigierten Positionswerte; und

Berechnen eines vorausgesagten Positionswerts unter Verwendung der gespeicherten korrigierten Positionswerte,

wobei der abgeglichene digitale Wert gleich dem vorausgesagten Positionswert ist.

11. Verfahren zum Liefern eines kompensierten Meßwandler-Ausgangssignals, umfassend:

Liefern eines digitalen Werts, der einen ermittelten Zustand darstellt;

Abgleichen des digitalen Werts in der Weise, daß er die Antwort eines vorgegebenen idealen Meßwandlers imitiert;

Erzeugen eines ersten Meßwandler-Ausgangsimpulses; und

Erzeugen eines zweiten Meßwandler-Ausgangsimpulses nach dem ersten Impuls, wobei die Zeitverzögerung zwischen dem ersten und dem zweiten Impuls aus dem abgeglichenen digitalen Wert abgeleitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der digitale Wert und der abgeglichene digitale Wert Zeiteinheiten umfassen.

13. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der Schritt des Abgleichens umfaßt:

Anwenden eines Korrekturfaktors auf den digitalen Wert.

14. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem der digitale Wert Zeiteinheiten umfaßt und der Schritt des Abgleichens umfaßt:

Berechnen eines Positionswerts aus dem digitalen Wert und aus einer vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit, wobei der abgeglichene digitale Wert den berechneten Positionswert umfaßt.

15. Verfahren nach Anspruch 11, umfassend:

Empfangen des ersten und des zweiten Meßwandler-Ausgangsimpulses;

Messen der Zeitdauer zwischen dem ersten und dem zweiten Meßwandler-Ausgangsimpuls; und

Umsetzen der Zeitdauer in einen Wert, der den ermittelten Zustand darstellt, anhand der Antwort des vorgegebenen idealen Meßwandlers.

16. Lineares Positionsmeßwandlersystem, mit:

einem Wellenleiter;

einer Abfrageimpuls-Generatorschaltung;

einem mit dem Wellenleiter in Verbindung stehenden Modenumwandler;

einer mit dem Modenumwandler und mit der Abfrageimpuls-Generatorschaltung in Verbindung stehenden Rechenschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie die

Zeitdauer zwischen dem Erzeugen eines Abfragesignals von dem Abfrageimpulsgenerator und dem Erzeugen eines Antwortsignals von dem Modenumwandler mißt und anhand der Zeitmessung einen digitalen Wert erzeugt;

einer mit der Rechenschaltung in Verbindung stehenden Kompensationsschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie den digitalen Wert zum Erzeugen eines kompensierten digitalen Werts abgleicht, der die Antwort eines Wellenleiters mit einer vorgegebenen Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit simuliert; und

einem mit der Kompensationsschaltung in Verbindung stehenden Stopp-Impuls-Generator, der so konfiguriert ist, daß er anhand des kompensierten digitalen Werts einen Stopp-Impuls erzeugt.

17. System nach Anspruch 16, mit:

einer mit der Kompensationsschaltung in Verbindung stehenden Korrekturfaktor-Speichereinheit, wobei die Kompensationsschaltung so konfiguriert ist, daß sie unter Verwendung eines in der Speichereinheit gespeicherten Korrekturfaktors den kompensierten digitalen Wert berechnet.

18. System nach Anspruch 16, bei dem der Stopp-Ausgangsimpulsgenerator umfaßt:

eine Zählerschaltung; und

eine Abgriff-Verzögerungsschaltung.

19. System nach Anspruch 16, mit:

einer mit der Rechenschaltung in Verbindung stehenden Speichereinheit für die frühere Historie mit mehreren darin gespeicherten früheren digitalen Werten, die früheren Zeitmessungen entsprechen, wobei die Rechenschaltung so beschaffen ist, daß sie den digitalen Wert aus den früheren digitalen Werten voraussagt.

20. System nach Anspruch 16, mit:

einer Start-Impuls-Generatorschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie einen Start-Impuls erzeugt, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls dem kompensierten digitalen Wert entspricht.

21. System nach Anspruch 16, mit:

einem mit der Start-Impuls-Generatorschaltung und mit der Stopp-Impuls-Generatorschaltung in Verbindung stehenden Steuersystem, das so konfiguriert ist, daß es die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls mißt und aus der gemessenen Zeitdauer und aus der vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit einen Positionswert berechnet.

22. System nach Anspruch 16, mit:

einer mit der Kompensationsschaltung in Verbindung stehenden Speichereinheit für die frühere Historie, in der der kompensierte digitale Wert gespeichert ist, wobei die Kompensationsschaltung so beschaffen ist, daß sie aus dem kompensierten digitalen Wert einen vorausgesagten digitalen Wert berechnet;

einer Start-Impuls-Generatorschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie einen Start-Impuls erzeugt, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls direkt proportional zu dem vorausgesagten digitalen Wert ist.

23. System nach Anspruch 16, bei dem die Rechenschaltung, die Stopp-Impuls-Generatorschaltung und die Kompensationsschaltung Bestandteil einer integrierten Schaltung sind.

24. System nach Anspruch 16, bei dem der digitale Wert und der kompensierte digitale Wert Zeiteinheiten umfassen.

25. Lineares Positionsmeßwandlersystem, mit:

einem Zylinder;

einem wenigstens teilweise in dem Zylinder vorgesehenen Wellenleiter;

einer Abfrageimpuls-Generatorschaltung;

einem mit dem Wellenleiter in Verbindung stehenden Modenumwandler;

einem zu dem Zylinder benachbart liegenden Nahelektronik-Gehäuse;

einer wenigstens teilweise in dem Nahelektronik-Gehäuse vorgesehenen und mit dem Modenumwandler in Verbindung stehenden Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung, die so konfiguriert ist, daß sie ein analoges Antwortsignal von dem Modenumwandler in ein digitales Impulssignal umsetzt; und

einer fern von dem Zylinder liegende Fernelektronik, mit:

einer mit der Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung in Verbindung stehenden Rechenschaltung, die so konfiguriert ist, daß sie die Zeitdauer zwischen dem Erzeugen eines Abfragesignals von dem Abfrageimpuls-generator und dem Erzeugen eines digitalen Impulssignals von der Signalaufbereitungs-Schaltungsanordnung mißt und anhand der gemessenen Zeitdauer einen digitalen Wert erzeugt.

26. System nach Anspruch 25, bei dem die Fernelektronik umfaßt:

einen fern von dem Zylinder liegenden und mit der Rechenschaltung in Verbindung stehenden Kompensationsprozessor, der so konfiguriert ist, daß er den digitalen Wert zum Erzeugen eines kompensierten digitalen Werts abgleicht, der die Antwort eines Wellenleiters mit einer vorgegebenen Standard-Ausbreitungsgeschwindigkeit simuliert; und

einen fern von dem Zylinder liegenden und mit dem Kompensationsprozessor in Verbindung stehenden Stopp-Impuls-Generator, der so konfiguriert ist, daß er anhand des kompensierten digitalen Werts einen Stopp-Impuls erzeugt.

27. System nach Anspruch 26, bei dem die Fernelektronik umfaßt:

eine fern von dem Zylinder liegende und mit dem Kompensationsprozessor in Verbindung stehende Speichereinheit, in der mehrere Korrekturfaktoren gespeichert sind, wobei der Kompensationsprozessor einen Korrekturfaktor zum Berechnen des kompensierten digitalen Werts verwendet.

28. System nach Anspruch 26, mit:

einem Start-Impuls-Generator, der so konfiguriert ist, daß er einen Start-Impuls erzeugt, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls den kompensierten digitalen Wert darstellt; und

einem mit dem Start-Impuls-Generator und mit dem Stopp-Impuls-Generator in Verbindung stehenden Steuersystem, das so konfiguriert ist, daß es die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls mißt und aus der gemessenen Zeitdauer und aus der vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit einen Positionswert berechnet.

29. Verfahren zum Liefern eines kompensierten linearen Positionsmeßwandler-Ausgangssignals, umfassend:

a) Erzeugen eines Abfrageimpulses zum Erzeugen einer mechanischen Welle in einem Wellenleiter an der Position eines in der Nähe des Wellenleiters angeordneten Magneten;

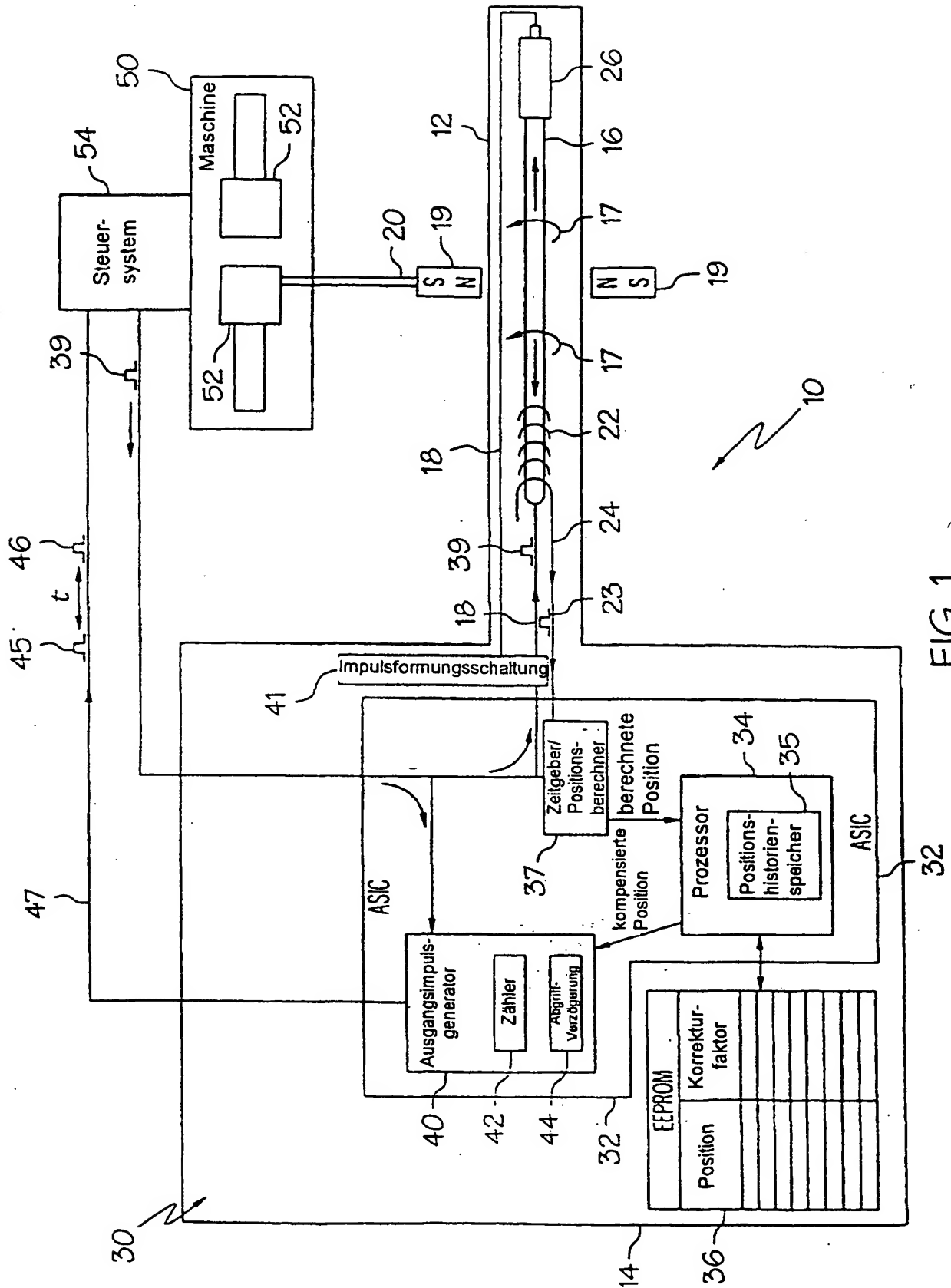
b) Erzeugen eines Antwortimpulses aus der mechanischen Welle;

c) Messen der Zeitdauer zwischen dem Abfrageimpuls und dem Antwortimpuls;

- d) Ermitteln eines Positionswerts anhand der gemessenen Zeitdauer;
 e) Messen einer tatsächlichen Magnetposition längs des Wellenleiters unter Verwendung einer Meßvorrichtung;
 f) Berechnen eines Korrekturfaktors unter Verwendung der tatsächlichen Magnetposition und des Positionswerts;
 g) Speichern des Korrekturfaktors im Speicher;
 h) Verschieben des Magneten und Wiederholen der Schritte a bis g;
 i) Montieren des Speichers in einem Meßwandler;
 j) Erzeugen eines zweiten Abfragesignals zum Erzeugen einer zweiten mechanischen Welle in dem Wellenleiter;
 k) Umsetzen der zweiten mechanischen Welle in ein zweites Antwortsignal;
 l) Ermitteln der Zeitdauer zwischen dem zweiten Abfragesignal und dem zweiten Antwortsignal;
 m) Berechnen eines zweiten Positionswerts anhand der ermittelten Zeitdauer;
 n) Abgleichen des zweiten Positionswerts in der Weise, daß er mit einem idealen Meßwandler mit einer linearen Wellenleiter-Antwort und mit einer vorgegebenen Standard-Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit übereinstimmt;
 o) Speichern des abgeglichenen zweiten Positionswerts;
 p) Berechnen eines vorausgesagten Positionswerts aus dem abgeglichenen zweiten Positionswert; und
 q) Erzeugen eines Start-Impulses und eines Stopp-Impulses, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls proportional zu dem vorausgesagten Positionswert ist.
30. Verfahren nach Anspruch 29, umfassend:
 Messen der zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls vergangenen Zeit; und
 Berechnen eines Ermittelten Positionswerts anhand der vergangenen Zeit.
31. Verfahren zum Liefern eines kompensierten linearen Positionsmeßwandler-Ausgangssignals, umfassend:
 Erzeugen eines Abfragesignals zum Erzeugen einer mechanischen Welle in einem Wellenleiter;
 Umsetzen der mechanischen Welle in ein Antwortsignal; Messen der Zeitdauer zwischen dem Abfragesignal und dem Antwortsignal;
 Berechnen einer Position anhand der gemessenen Zeitdauer;
 Abgleichen der berechneten Position in der Weise, daß sie mit einem idealen Meßwandler mit einer linearen Wellenleiter-Antwort und mit einer vorgegebenen Wellenleiter-Ausbreitungsgeschwindigkeit übereinstimmt;
 Erzeugen eines Start-Impulses und eines Stopp-Impulses, wobei die Zeitdauer zwischen dem Start- und dem Stopp-Impuls aus der abgeglichenen Position abgeleitet wird;
 Umsetzen des Start- und des Stopp-Impulses in ein Positionsausgangssignal; und
 Steuern einer Maschine unter Verwendung des Positionsausgangssignals.
32. Verfahren nach Anspruch 31, bei dem der Start-Impuls und der Stopp-Impuls durch eine nahe bei dem Wellenleiter liegende Elektronik erzeugt werden, während die Impulse durch die von dem Wellenleiter ferne Elektronik in das Positionsausgangssignal umgesetzt

werden.

 Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen



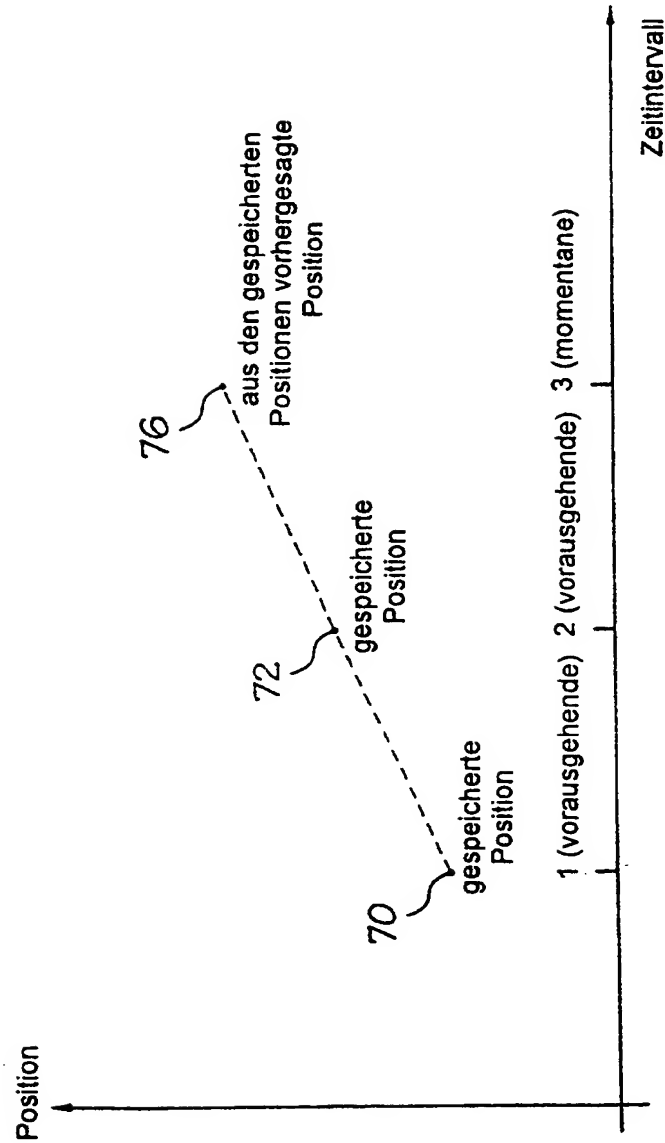
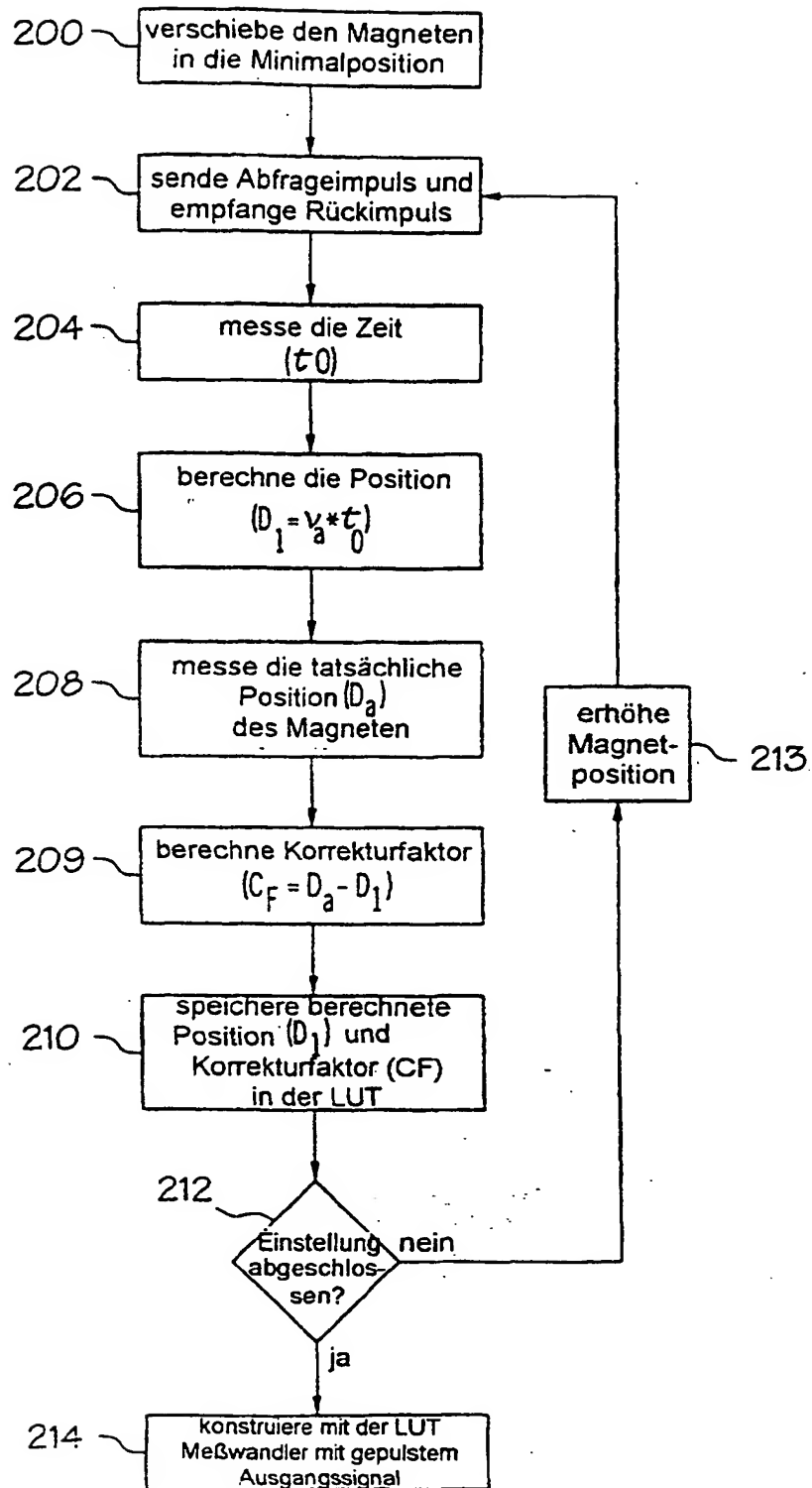
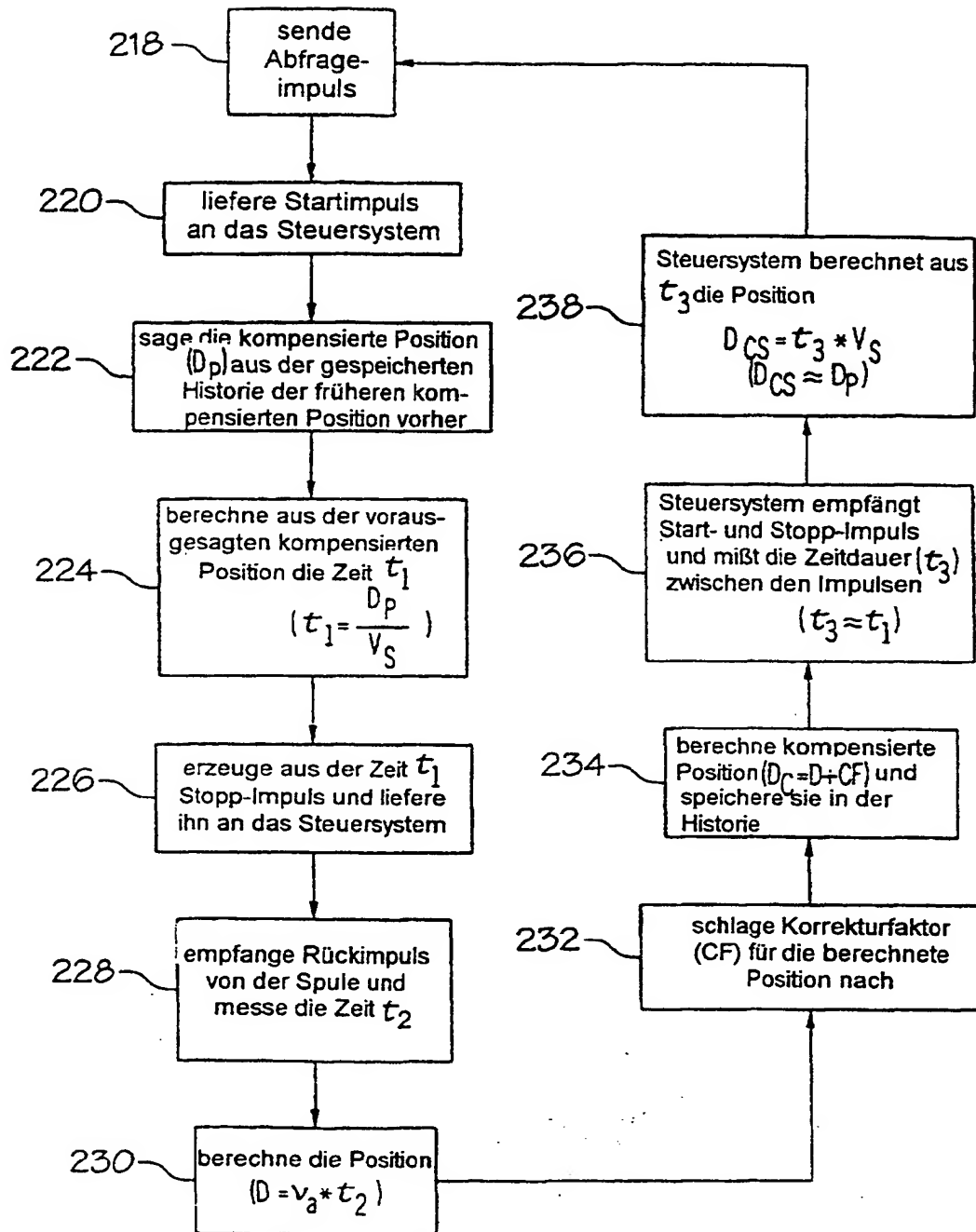


FIG. 2

FIG. 3A
(Eichung)


 FIG. 3B
 (Betrieb)

250

252

| aus der gemessenen Zeit (mit dem tatsächlichen Gradienten und unter Voraussetzung der Linearität) berechnete Position ($D = v * t$) | tatsächliche Position (aus der Lasermessung) |
|---|---|
| 02 | 0 |
| 1 | 0.8 |
| 2 | 19 |
| 3 | 3 |
| 4 | 3.7 |
| 5 | 4.8 |
| 6 | 5.9 |
| 7 | 6.8 |
| 8 | 7.7 |
| 9 | 9.8 |
| 10 | 10.1 |

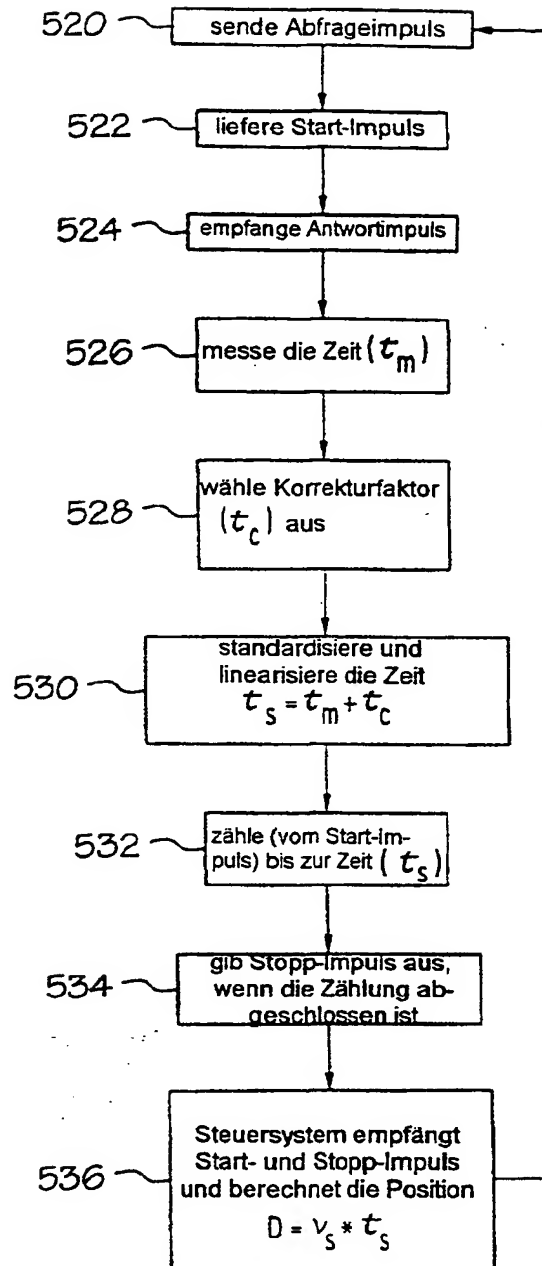
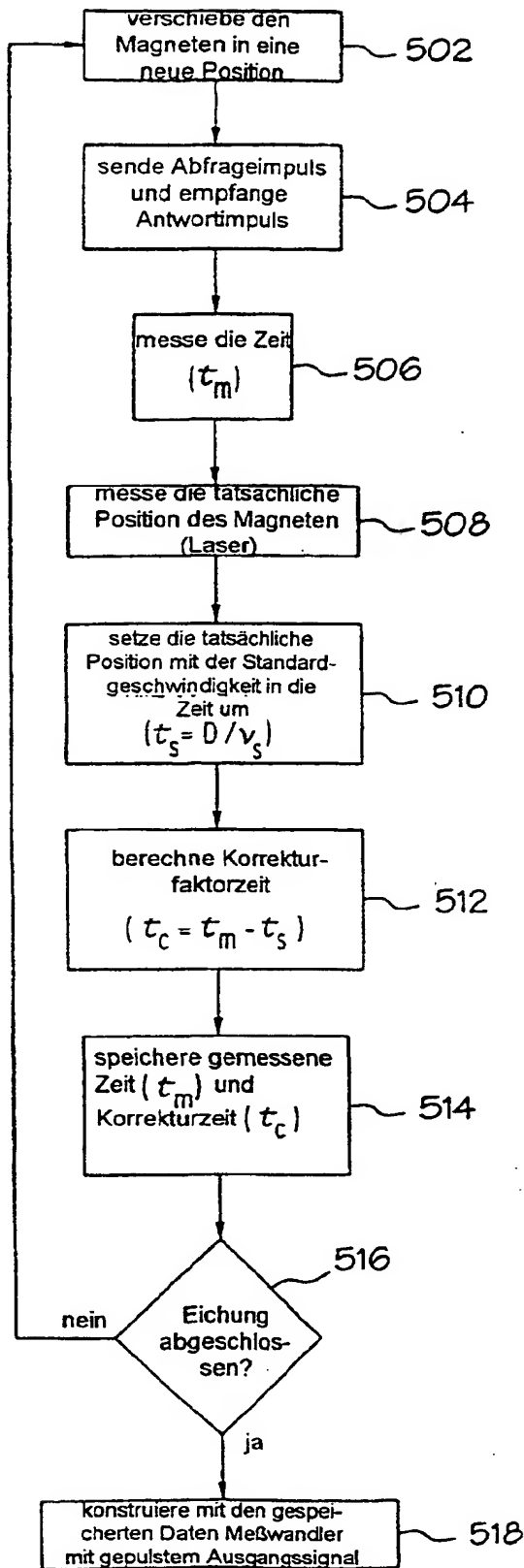
FIG. 4A

250

254

| aus der gemessenen Zeit (mit dem tatsächlichen Gradienten und unter Voraussetzung der Linearität) berechnete Position ($D = v * t$) | zum Erhalt der tatsächliche Position (aus der Lasermessung) erforderlicher Korrekturwert |
|---|---|
| 02 | -02 |
| 1 | -02 |
| 2 | -01 |
| 3 | 0 |
| 4 | -03 |
| 5 | -02 |
| 6 | -01 |
| 7 | -02 |
| 8 | -03 |
| 9 | -02 |
| 10 | +01 |

FIG. 4B



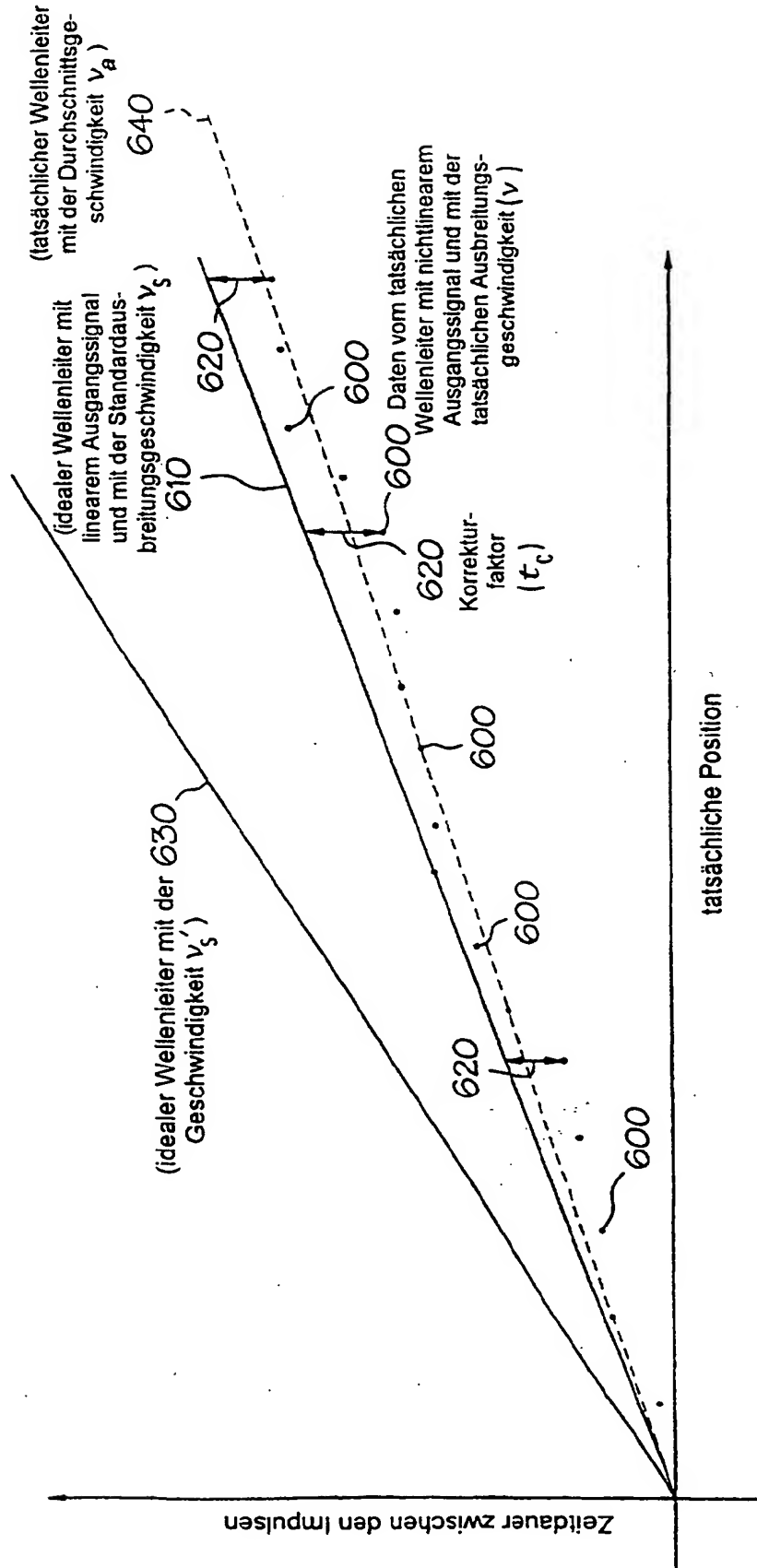


FIG. 6

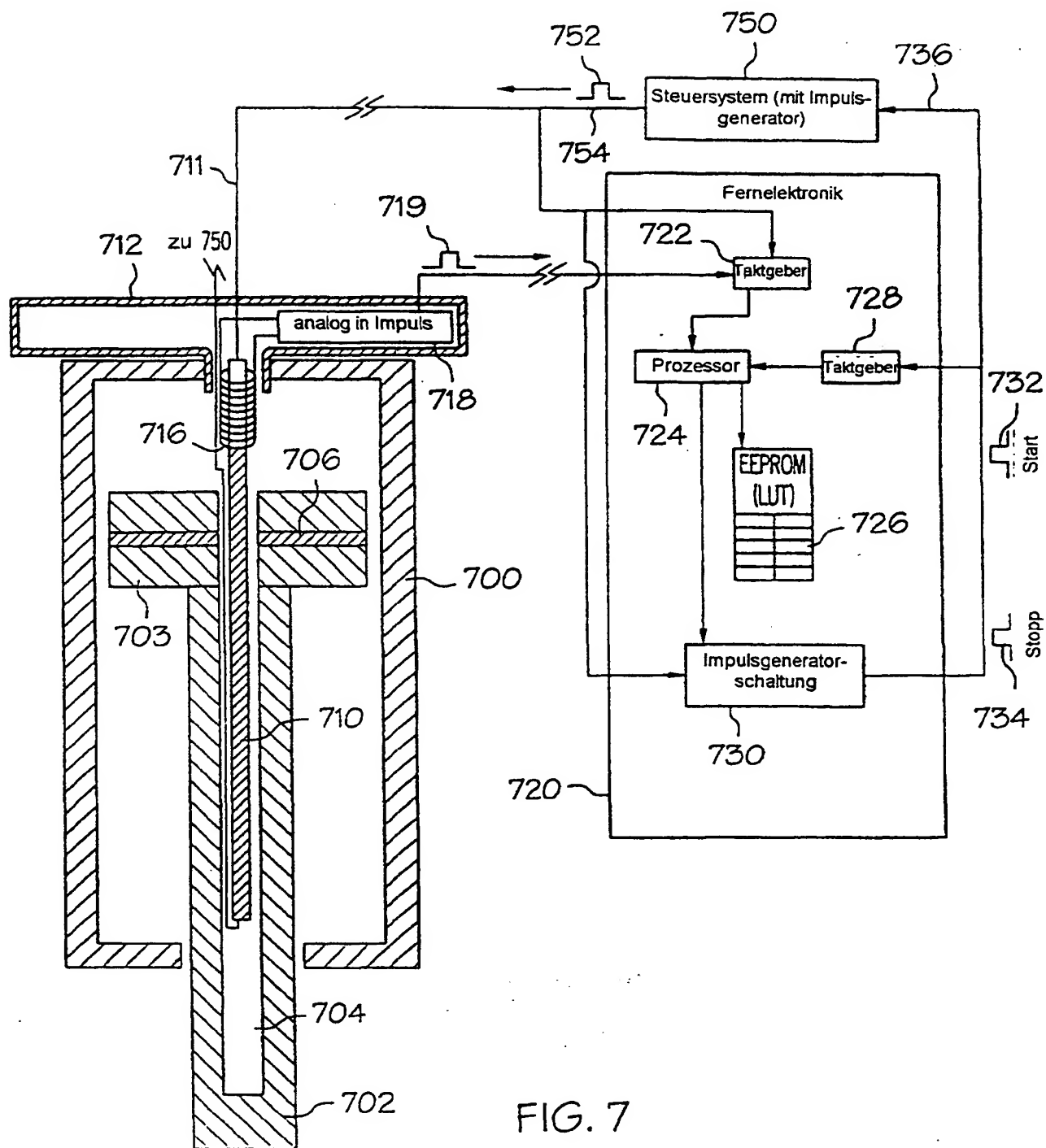


FIG. 7

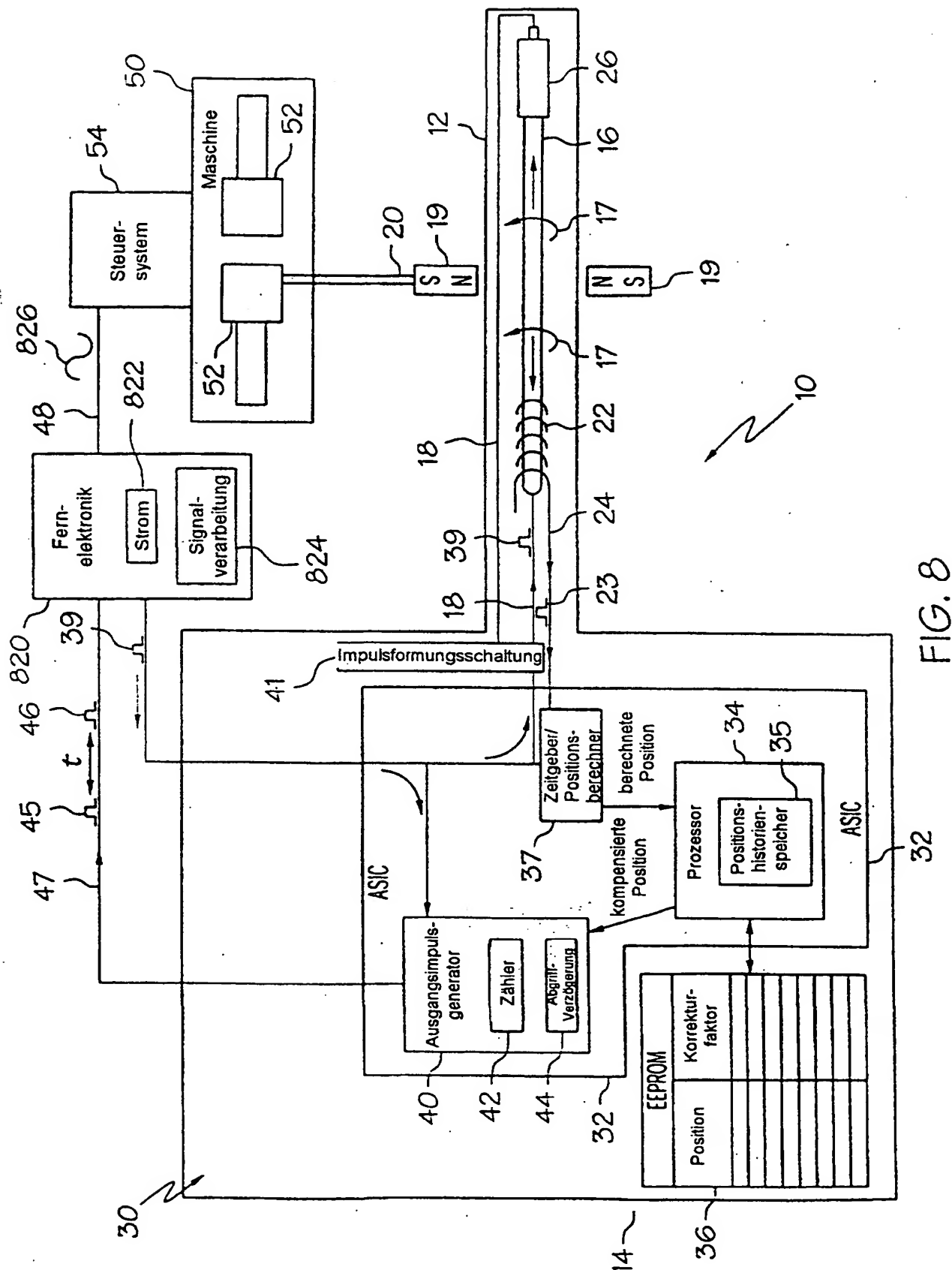


FIG. 8

